はじめに

本講座は，難関大の受験に向けて，ハイレベルの問題に対する解答力を身に付けるための講座です。

難関大の生物の問題は，知識だけで乗り切ることはできません。他の理科科目に比べて問題文の分量も多く，初見のデータや図を解釈しなくてはならないため，多くの受験生は苦しい思いをしているはずです。また，解答は記述形式のものが多く，自分の考えを短時間で端的にまとめる力も要求されます。

本講座では，難関大合格のために必要なこれらの読解力，分析力，記述力を養うために，ぜひ経験しておいてほしい問題を多く掲載しました。講義では，それらの問題の解説を中心に進めていきますので，あらかじめ問題を解いた上で動画を視聴するようにしてください。かなり難しい問題も載せているので，全ての問題を解ききるのは困難です。それぞれの小問で壁に当たるまで挑戦してみましょう。

ある程度の背景知識を前提としているので，知識で解ける小問などは解説では軽く触れる程度で進めていきます。知識が不十分であると感じる場合は，対応する高３生物の講座を視聴するなどして充実を図ってください。

基本的な知識を土台にして，データを解釈し，仮説を立て，検証する。この流れは，どのようなレベルの問題に対しても変わらない共通のアプローチです。生物の解答力は，すなわち汎用性の高い科学的な思考力そのものです。一朝一夕で身に付くものではありませんが，決して天才達だけのものでもありません。まずは，この講座をきっかけに，さらに高いレベルに挑戦していってください。

牧島　央武

目次

第 1 講	同位体を用いた実験	p.4
第 2 講	染色体と遺伝子	p.12
第 3 講	興奮の伝導，伝達	p.20
第 4 講	拒絶反応，抗原抗体反応	p.30
第 5 講	膜タンパク質，糖の取り込み	p.42
第 6 講	酵素反応の調節，限定要因	p.54
第 7 講	遺伝子①	p.64
第 8 講	遺伝子②	p.74
第 9 講	生態系内の物質循環	p.84
第10講	進化の仕組み	p.92

第１講　同位体を用いた実験

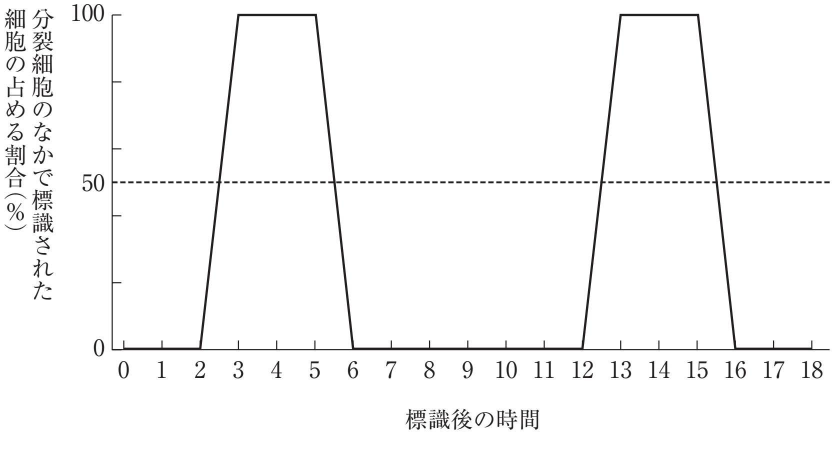
【1】　次の文を読んで以下の設問に答えよ。

増殖し続ける細胞は，M期（分裂期）―G_1期―S期（DNA合成期）―G_2期を繰り返す。この繰り返しを細胞周期とよぶ。いま，すべての細胞が同じ周期で分裂を続けている細胞集団がある。この細胞集団では，細胞周期上の各時期の長さはすべての細胞で等しく，しかも細胞周期の中で細胞は一様に分布しているとする。

ヌクレオチドを構成する塩基である①チミンの水素原子の一部を放射性同位体で置き換えたものを作り，培養液に入れておくと，細胞はDNAを合成する時にその物質を取り込む。この時，この細胞は放射性同位体によって「標識された」といわれる。このような細胞集団を適当に薬品処理すると標識された細胞を顕微鏡で観察することができる。

②細胞集団を短時間だけそのような培養液に入れたあと，放射性同位体を含まない培養液に戻した。一定時間ごとに固定し，染色体を見るためのサンプルをいくつも作った。分裂細胞中に現れた標識された細胞を数えて次のグラフを描くことができた。このグラフから，標識された細胞が細胞周期を進んでいくようすを知ることができる。

③標識してから２時間経過した後のサンプルで，はじめて分裂期の細胞に標識された染色体が見られた。その④１時間後のサンプルでは，分裂中の細胞はすべて標識されていた。そこから⑤２時間を過ぎると，分裂中の細胞に占める標識された細胞の割合は減り始め，１時間後には０％になった。さらにその⑥６時間経過した後のサンプル，すなわち，はじめて分裂期の細胞に標識された染色体が見えてから10時間経過した後のサンプルでは，再び分裂期の細胞に標識された染色体が見られた。その後は，同じ現象が繰り返された。



1．下線部①に関して，他の塩基ではなく，チミンを標識するのはなぜか説明せよ。

2．下線部②に関して，最初に標識されるのは，培養液に入れた時に何期にあった細胞か答えよ。

3．下線部③の2時間は，細胞周期の何期の長さにあたるか。

4．下線部④から細胞周期の何期の長さがわかるか。それは何時間か。

5．下線部⑤から細胞周期の何期の長さがわかるか。それは何時間か。

6．下線部⑥から細胞周期全体の長さがわかる。それは何時間か。

7．G_1期の長さを求めよ。

【2】　細胞を質量の大きい窒素の同位体(^{15}N)を含む培養液で培養し続けると，DNAの持つ窒素を全て^{15}Nに置き換えることができる。その後，質量が小さい同位体である^{14}Nを含む培養液に移して培養を続けると，新しく合成されたDNAは全てが^{14}Nを含むことになる。細胞からDNAを抽出し，短い断片にした後に高温処理などをして２本鎖をほどき，１本鎖の状態で比重の違いによって分離すると，もとから存在していた^{15}Nを含むDNAと，新しく合成された^{14}Nを含むDNAに分離することができる。ここでは^{15}Nを含む1本鎖DNAを重いDNA，^{14}Nを含む１本鎖DNAを軽いDNAと呼ぶことにする。以下に示す実験１は仮想実験であり，実際に実行可能であるか否かは問わない。

〔実験1〕　核相が単相の酵母を培養したところ，2時間で2倍に増殖した。この細胞集団では，細胞分裂の過程は同期していなかった。この集団を^{15}Nを含む培養液で培養し，全ての細胞が重いDNAのみを持つようにしたのち，２つの群に分けた。第一群では培養液を^{14}Nを含む培養液に換え，２時間培養した。培養後，細胞数は予想通り２倍になっていた。第二群では，^{14}Nと共に細胞分裂を阻害する薬剤を含む培養液に換え，２時間培養した。培養後，細胞の数は増えておらず，全ての細胞は分裂期の状態にあった。

問１　実験１の第一群の細胞から下の㈠および㈡に相当する細胞を１つだけ取り出し，文章の方法で軽いDNAのみを分離した。それらのDNAの塩基組成を調べた時，予想される結果として適切なものを，a)～g)のうちからそれぞれ<u>全て</u>選べ。

(ア)　^{14}Nを含む培養液に換えてから初めて分裂期を迎えた細胞の１つ

(イ)　^{14}Nを含む培養液に換えてから初めて生じた娘細胞の１つ

a)　A：Cの比は１：１になる。

b)　A：Gの比は１：１になる。

c)　A：Tの比は１：１になる。

d)　A＋C：G＋Tの比は１：１になる。

e)　A＋G：C＋Tの比は１：１になる。

f)　A＋T：C＋Gの比は１：１になる。

g)　塩基組成に規則性はない。

問２　実験１の第一群の細胞を１つ１つに解離し，それぞれが持つ総DNA量を測定してヒストグラムを作成したところ図1のようになった。図中の横軸はDNA相対量であり，１は染色体１セットに含まれるDNA量である。縦軸はそれぞれのDNA量を持つ細胞の数の割合である。ただし，DNA量の測定では窒素の同位体の重さの違いは無視できるものとする。このグラフから，この細胞はDNA複製を始めてから終了するまでに何分かかると考えられるか。

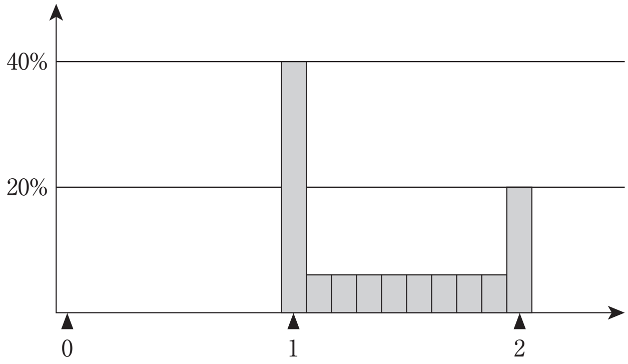
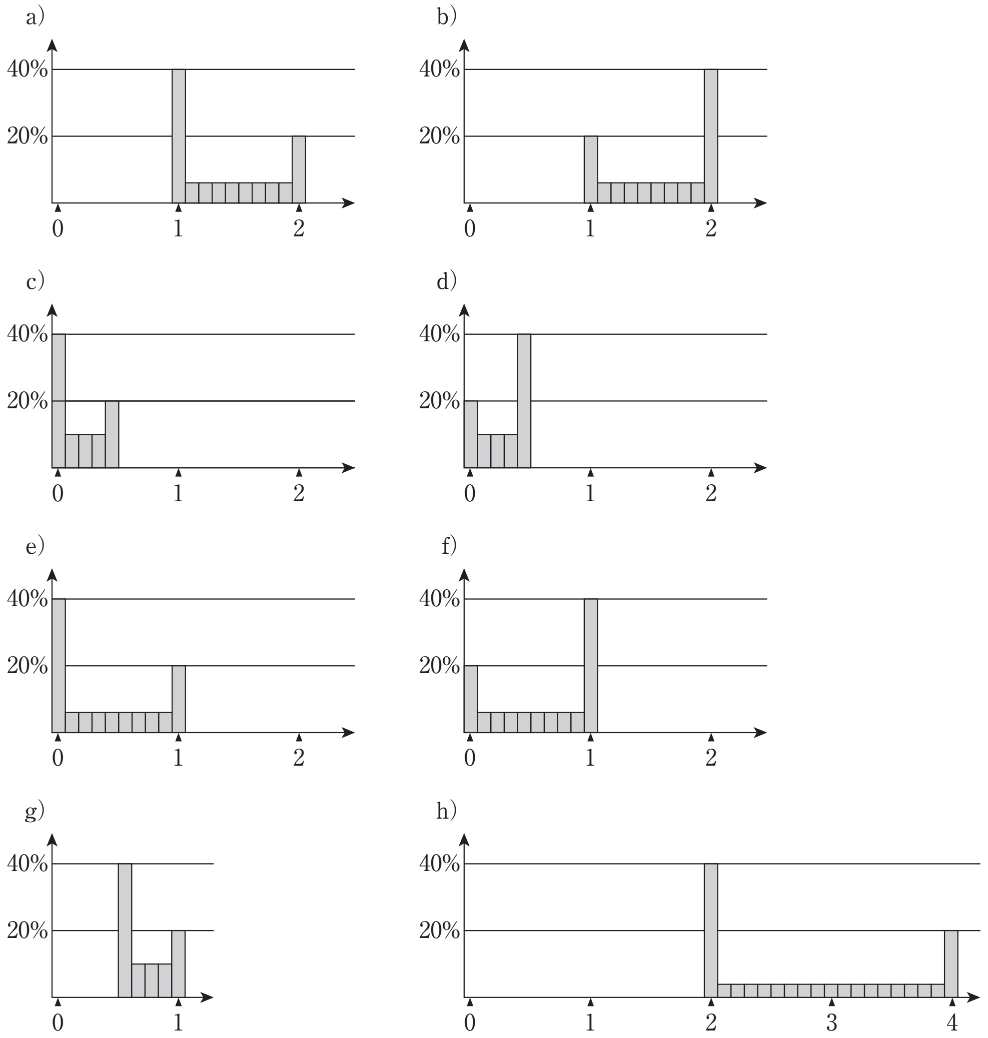


図１

問３　実験１の第二群の細胞(細胞分裂が阻害され，全ての細胞は分裂期の状態にある)を１つ１つに解離し，それぞれの細胞から文章の方法で重いDNAと軽いDNAを分離し，そのDNA相対量を測定した。測定値から重いDNAの量のヒストグラムと軽いDNAの量のヒストグラムを作成した。予想されるグラフを次の図の選択肢a)～h)のうちからそれぞれ１つずつ選べ。ただし，DNA量の測定では窒素の同位体の重さの違いは無視できるものとする。

重いDNA　　　　軽いDNA



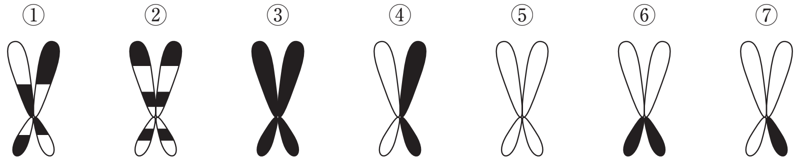
問４　実験１の第一群の細胞(細胞分裂は阻害されておらず，細胞数は２倍に増加している)を用いて問３と同様の測定を行い，重いDNAの量のヒストグラムと軽いDNAの量のヒストグラムを作成した。予想されるグラフを前の図の選択肢a)～h)のうちからそれぞれ１つずつ選べ。ただし，DNA量の測定では窒素の同位体の重さの違いは無視できるものとする。

第１講　確認テスト

細胞の増殖に関する以下の文章［Ⅰ］と［Ⅱ］を読み，以下の問に答えなさい

［Ⅰ］　動物や植物の細胞はDNA合成準備期(G_1期)，DNA合成期(S期)，分裂準備期(G_2期)，分裂期(M期)という細胞周期を繰り返して増殖する。このうちM期はさらに前期，中期，後期，終期に分けられる。がん細胞は培養液中で培養していると，すべての細胞がこの細胞周期を繰り返しながら増え続けることができる。このようにがん細胞がさかんに増殖している時に，培養液に放射性同位体で標識したチミジンを添加しておくと，DNA複製の際に，新しく合成されるDNA鎖に標識したチミジンが取り込まれ，DNAが標識される。その後，標識したチミジンを含まない培養液に細胞を移して培養を続け，標識されたDNA鎖を含む細胞が最初のM期に達したとき，標識したチミジンの放射線を目印にして追跡することにより染色体の様子を調べた。ただし，標識したチミジンを取り込んだ細胞も普通の細胞と同じように細胞周期が進行する。

問１　下の選択肢①～⑦は，標識されたDNA鎖を含む分裂中期の染色体を模式的に表したものである。標識された染色体の部分は黒く塗りつぶしてある。標識された染色体として最も適切なものを次の①～⑦のうちから１つ選べ。



問２　この細胞を標識チミジンを含まない培養液でさらに培養し，次のM期になったとき，中期の染色体が標識されている状態を調べた。このときの染色体はどのように標識されているか。最も適切なものを問１の選択肢①～⑦のうちから１つ選べ。

［Ⅱ］　サイトカラシンBという薬剤を培養液に添加すると，細胞周期は細胞質分裂に進むことができない。そのため時間とともにM期の細胞の数が増加する。図１は，培養液に標識したチミジンとサイトカラシンBを同時に加え，時間を追って細胞の数と，その細胞が標識されたDNAを持つかを調べた結果をグラフに表したものである。図１の“時間0”の値は，サイトカラシンBを加えた直後の短時間(数分)後の値を示してあり，サイトカラシンBを加えた時点で5%の細胞がM期にあり，30%の細胞でDNA合成が行なわれていることを示している。

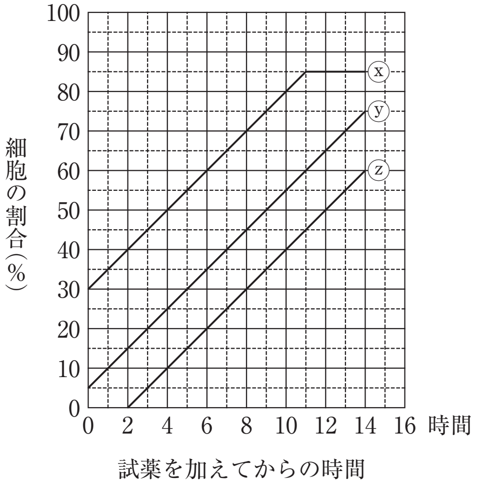


図１　標識チミジンとサイトカラシンBを加えてからの
　　　各細胞の割合の時間変化
　　　ⓧ標識されたDNAを持つすべての細胞の割合
　　　ⓨM期の細胞の割合
　　　ⓩ標識されたDNAを持つM期の細胞の割合

問３　時間０でDNAが標識されていない70%の細胞は細胞周期のどの時期にあるか。該当する時期を①～④のうちからすべて選べ。

①　G_1期　　②　S期　　③　G_2期　　④　M期

問４　標識されたDNAを持つ細胞の割合は，図１のⓧのように85%に達するとそれ以上は増加しない。いつまでも標識されない残りの15%の細胞はサイトカラシンBを入れた時点でどの時期にあった細胞か。該当する時期を①～④のうちからすべて選べ。

①　G_1期　　②　S期　　③　G_2期　　④　M期

問５　標識されたDNAを持つＭ期の細胞の割合（図１のⓩ）は最初の２時間は０％である。この２時間は，細胞周期のどの時期の所要時間に相当するか。該当する時期を①～④のうちからすべて選べ。

①　G_1期　　②　Ｓ期　　③　G_2期　　④　Ｍ期

問６　これらの結果から，この細胞が細胞周期を一周するのに要する時間は20時間であり，各時期の所要時間は，G_1期は［ア］時間，Ｓ期は［イ］時間，G_2期は［ウ］時間，Ｍ期は［エ］時間であると計算される。［ア］～［エ］に入る数字を整数でそれぞれ答えよ。

第２講　染色体と遺伝子

【1】　異なった血液型の血液を混合すると，抗原抗体反応により血液が凝集反応を起こすことがある。ABO式血液型は1900年代初頭に報告されたヒトの主要な血液型の１つである。ABO式血液型では２種類の抗原（A抗原およびB抗原）の有無により，４通りの表現型を示す。A型の人の赤血球にはA抗原が，B型の人の赤血球にはB抗原が，AB型の人の赤血球にはA抗原もB抗原もある。O型の人の赤血球にはどちらの抗原もない。

ABO式血液型抗原は，細胞表面の脂質またはタンパク質に結合した糖鎖〔注1〕である。1960年代にはA抗原，B抗原の合成経路に関する酵素学的研究が進んだ。まず，前駆体Pを基質として，酵素Hの作用により，前駆体Hが合成される。ついで，前駆体Hを基質として，酵素Aの作用によりA抗原が，酵素Bの作用によりB抗原が作り出される。

一方，(ア)遺伝学的な研究から，ABO式血液型を決定する遺伝子は，A，B，Oの３種類があり，これらは対立関係にあることがわかっていた。1990年代になって，A，B，O各遺伝子の研究が大きく進展し，遺伝子Aは酵素Aの，遺伝子Bは酵素Bの遺伝情報を担うことが明らかにされた。酵素Aと酵素Bはよく似た構造をしているが，タンパク質を構成する354個のアミノ酸のうち4個が異なっている。

A，B，O対立遺伝子の塩基配列の違いは，制限酵素による遺伝子の切断位置の変化につながることがわかっている。例えば，(イ)各遺伝子の７番目のエキソンは691塩基対からなる。遺伝子Aと遺伝子Oではこの部分の塩基配列が同じであるが，遺伝子Bでは異なっている。このため，遺伝子Aおよび遺伝子OはXという制限酵素によって，一方，遺伝子BはYという制限酵素によって，それぞれ１ケ所で切断される。逆に，遺伝子Aおよび遺伝子OはYという制限酵素によっては切断されず，また，遺伝子BはXという制限酵素によって切断されない。このほかに，遺伝子Aと遺伝子Oとの間で制限酵素による遺伝子の切断位置が異なる部分も知られており，この違いを用いて遺伝子型を確定することができる。

(ウ)ABO式血液型の他によく知られているものとして，Rh式血液型がある。Rh式血液型は常染色体上にある対立遺伝子Dとdにより支配され，Dはdに対して顕性（優性）である。Rh^+型の遺伝子型はDDあるいはDd，Rh^-型の遺伝子型はddである。

〔注１〕　糖鎖：複数の糖が鎖状に結合したもの

(1)　下線部(ア)のように，３つ以上の遺伝子が対立関係にあるとき，これらの遺伝子の名称を答えよ。

(2)　下線部(イ)について，父，母，および，子１，子２からDNAを採取し，PCR法により７番目のエキソンにあたる部分を増幅してDNA試料を得た。これを制限酵素XあるいはYにより処理し，ゲル電気泳動法によりDNA断片の切断位置を調べたところ，結果1～4を得た(図１)。結果１～４はこの４人家族のいずれかひとりずつに対応している。ゲル電気泳動法は，ゲル中で電場をかけて荷電粒子を分離する手法であり，ここでは大きさの異なるDNA断片を分離する目的で使われている。分離したDNA断片は特殊な試薬で染色することにより可視化できる。ここで，「制限酵素による切断は完全に起こること」，「DNAを採取した個人の酵素Hの機能は正常であること」，「本文中で扱っていない血液型の遺伝子変化はないこと」を前提とする。子１の血液型がA型であることがわかっている場合，子1の結果を示すものを結果１～４のうちから選べ。

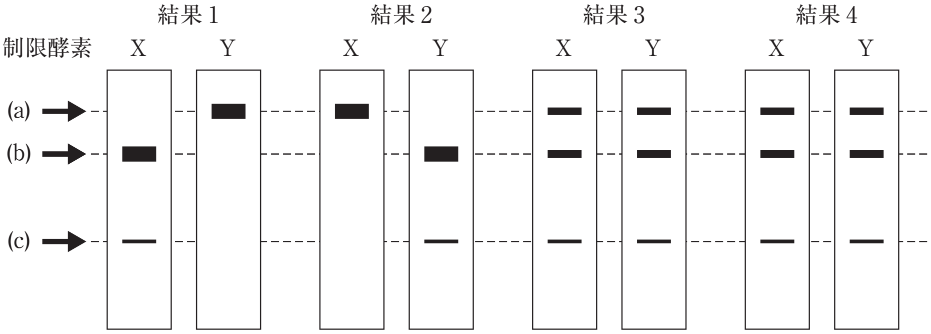


図１　制限酸素XとYで処理したDNA試料のゲル電気泳動結果の模式図
(a)は690塩基対，(b)は540塩基対，(c)は150塩基対のDNA断片の泳動位置を示す。

(3)　図１の結果２になる遺伝子型をすべて答えよ。

(4)　図１の結果から，親の血液型(表現型)の可能な組合せをすべて答えよ。

(5)　図１の結果から，子1と子2それぞれの遺伝子型について可能性のあるものをすべて答えよ。

(6)　下線部(ウ)について，あるRh^+型の母親とRh式血液型未検査の父親から生まれた４人の子供のRh式血液型は，Rh^+型が３人とRh^-型が１人であった。この父親のRh式血液型の遺伝子型として可能性のあるものをすべて答えよ。

(7)　下線部(ウ)について，あるヒトの集団において，Rh式血液型を調べたところ，Rh^+型が96％，Rh^-型が4％であった。ハーディー・ワインベルグの法則があてはまると仮定して，この集団のRh^+型を示す人のうち，何％が遺伝子型Ddをもつと推定できるか。四捨五入により，小数点以下1桁まで求めよ。

【2】　マウスの染色体数は40本であり，19対の常染色体と１対の性染色体からなる。雌雄は性染色体により決められ，X染色体とY染色体を１本ずつもつものは雄，２本のX染色体をもつものは雌となる。雄のX染色体は母親に由来するが，雌は母親に由来するX染色体(Xm)と父親に由来するX染色体(Xp)をもつ。雌の体細胞では，X染色体上の遺伝子の発現量を雄と等しくするために，XmまたはXpいずれかの染色体が不活性化されている。どちらの染色体が不活性化されるかは，あらかじめ決められていない。一方，雌の生殖細胞では，発生の早い時期には片方のX染色体が不活性化されているが，①受精後12日目には両方のX染色体が活性化される。これにより，減数分裂後に生じたいずれの卵も活性化されているX染色体をもつようになる。X染色体上の遺伝子は活性化されているX染色体から転写され，不活性化されているX染色体からは転写されない。

問１　ある疾患はX染色体上の遺伝子の変異により引き起こされる。この遺伝子は酵素Eをコードする。この遺伝子のある変異は酵素Eの活性を消失させる。酵素Eの活性が低下したマウスは，この疾患を発症する。ただし，この疾患は生殖機能には影響しない。図１はこの変異をもつマウスの交配により得られた個体と，各世代の症状の程度を示している。発症した個体のうち，雄のすべてが重症個体である理由と，雌で軽症個体と重症個体の両方があらわれる理由を100字程度で説明せよ。

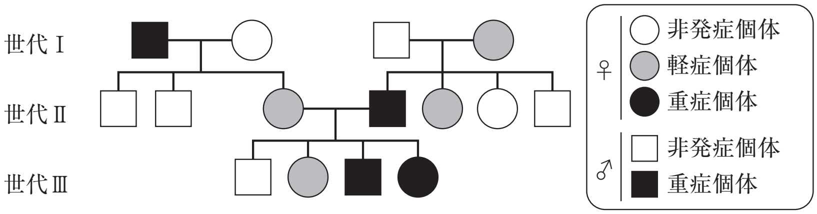


図１

問２　図１の軽症の雌の皮膚から細胞を１つずつ分離して培養し，単一の細胞に由来する細胞集団を６集団得た。また，非発症の雌および重症の雌についても同様の培養を行った。それぞれの細胞集団の酵素Ｅの活性を調べると，非発症の雌由来の集団は図２の(a)，重症の雌由来の集団は図２の(b)のようになった。軽症の雌由来の細胞集団における酵素Ｅの活性はどのようになるか。適切なものを図２の(c)～(g)の中から選べ。グラフ内の０は酵素活性がないことを表す。縦軸は酵素Ｅの活性を，横軸の数字は各細胞集団を示す。

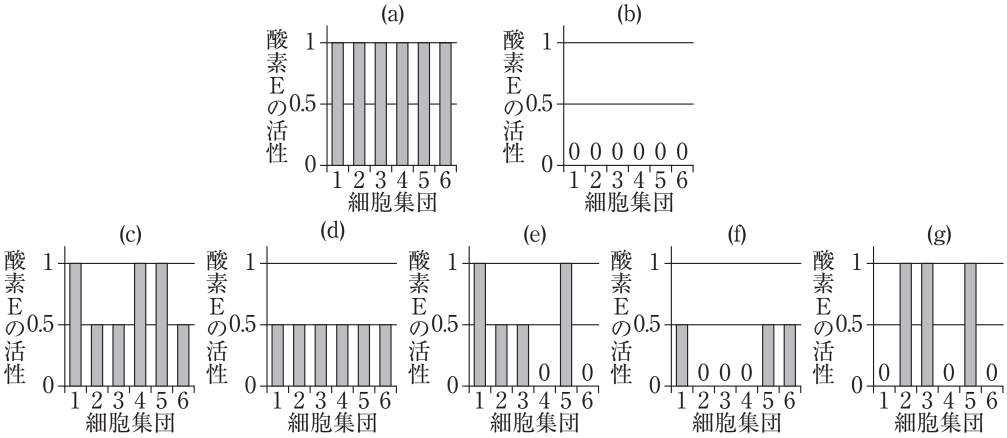


図2

問３　下線部①について，蛍光タンパク質をコードする遺伝子ＦをＸ染色体上にもつマウスを用いて，生殖細胞におけるＸ染色体の活性化の状態を調べた。遺伝子Ｆをもつ雄(X^FY)と片方のＸ染色体に遺伝子Ｆをもつ雌(X^FX)との交配により，X^FX^F，X^FX，X^FYの遺伝子型をもつ胚を得た。それぞれの胚の受精後10～13日目の生殖細胞1000個を破砕し，蛍光タンパク質の量を測定した。その結果を示すと考えられる組み合わせを図３の(h)～(m)の中から選べ。縦軸は蛍光タンパク質の量，横軸は受精後の日数を表す。

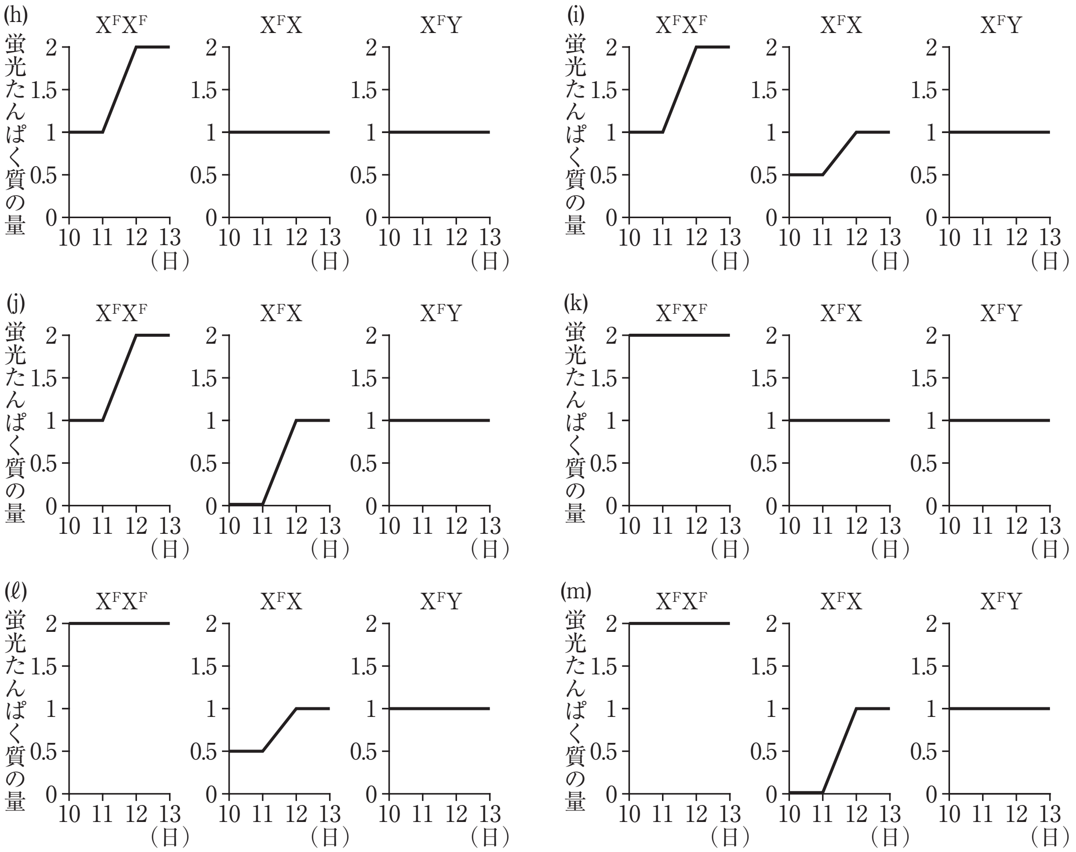


図３

第２講　確認テスト

次の文章を読み，問１～3 に答えよ。

ネコの被毛の色，模様は極めて多彩であるが，それら形質の発現には多くの遺伝子が関わっている。なお，下記の文章において，遺伝子のアルファベットの大文字は，それぞれの小文字に対して顕性(優性)を表す。また，遺伝子(O，o)および(S，s)の大文字は下線を引き$\underline{O}$および$\underline{S}$と表記する。

ネコの被毛の茶色の発現はＸ染色体上に存在する１組の対立遺伝子($\underline{O}$，o)によって決定される。茶色が顕性(優性)形質であり，雌で潜性(劣性)ホモ(X^oX^o)または雄で潜性(劣性)(X^oY)の場合には茶色は発現しない。一方，DNA配列の変化を伴わずに遺伝子の発現が制御され，娘細胞に伝達していく仕組みがあることがわかっている。ネコの被毛の茶色の発現にもこの機構が大きく関わっている。性染色体がXXであるネコの雌ではXYであるネコの雄に比べてＸ染色体が2倍量あるために，その量を調節する機構がはたらく。すなわち，雌では，胚の卵割がある程度進んだ時期に，各細胞の片方のＸ染色体が不活性化されるという現象が起こる。父親と母親からのＸ染色体のうちどちらが不活性化されるかは，細胞により異なる。よって，発生の初期において，ある細胞では父親由来のＸ染色体が不活性化され，ある細胞では母親由来のＸ染色体が不活性化される。いったん不活性化されると，その状態は細胞分裂を通じて維持される。

ネコのおのおの一本の毛に数種類の色が混ざり，まだらとなる毛色様式はアグチパターンとよばれ，全体の外観の毛色はいわゆるキジ色となる。アグチパターンの発現はアグチ遺伝子とよばれる１組の対立遺伝子(A，a)によって決定される。アグチパターンが顕性(優性)形質であり，顕性(優性)ホモ(AA)またはヘテロ(Aa)の場合の毛色はキジ色となる。一方，潜性(劣性)ホモ(aa)では黒色の毛色となる。しかし，被毛に茶色が発現する部位では，茶色遺伝子($\underline{O}$，o)がアグチ遺伝子より上位であるためにアグチ遺伝子の発現は抑制され，キジ色または黒色の形質は現れない。

ネコの被毛の一部または大部分が白色となる現象(以下，白斑と記載)の発現は，スポット遺伝子とよばれる1組の対立遺伝子($\underline{S}$, s)によって決定される。白斑が顕性(優性)形質であり，潜性(劣性)ホモ(ss)では白斑は発現しない。また，スポット遺伝子による白斑の発現は，アグチ遺伝子(A，a)や茶色遺伝子($\underline{O}$，o)の影響を受けない。

ネコの被毛には種々の模様が現れるが，それらの発現にも多くの遺伝子が関係していると考えられている。たとえば，キジ色または茶色の被毛に現れるトラ模様とよばれるトラのようなしま模様の発現は，１組の対立遺伝子(M，m)によって決定される。トラ模様が顕性(優性)形質であり，潜性(劣性)ホモ(mm)の場合は渦巻き模様となる。

なお，以下の設問に関しては，($\underline{O}$，o)（A，a）（$\underline{S}$，s）(M，m)の各対立遺伝子のみを考慮することとし，各遺伝子間での連鎖，および組換えは考えないものとする。

問１　一般的に三毛(みけ)ネコとよばれるのは，白色，黒色（黒色の代わりにキジ色の場合もある），茶色の三色を有するネコである。三毛ネコは通常，雌であり，茶色遺伝子（$\underline{O}$，o）の遺伝子型は$X^{\underline{O}}X^{o}$である。三毛ネコが生まれる遺伝的な機構を120字（アルファベット1文字，X^{o}および$X^{\underline{O}}$はそれぞれ1字とする）以内で記せ。

問２　「黒色と茶色（トラ模様あり）の二色の雌ネコ」と「全身キジ色（渦巻き模様あり）の雄ネコ」を交配した時，「黒色と茶色（トラ模様あり）の二色の雌ネコ」と「全身キジ色（渦巻き模様あり）の雄ネコ」が生まれた。推定される母ネコと父ネコの遺伝子型を記せ。

　なお，茶色遺伝子（$\underline{O}$，o）においては，性染色体XおよびYは表記せず，$X^{\underline{O}}X^{\underline{O}}$は$\underline{OO}$，$X^{\underline{O}}X^{o}$は$\underline{O}o$，$X^{o}X^{o}$は$oo$，$X^{\underline{O}}Y$は$\underline{O}$−，$X^{o}Y$は$o$−とすること。また，アルファベットの大文字か小文字かをはっきりと区別できるように記載し，（$\underline{O}$，o）（$\underline{S}$，s）では，大文字には必ず下線を引き，$\underline{O}$または$\underline{S}$とすること。

（例：$\underline{O}-Aa\underline{S}sMm$）

問３　表１はある地域のネコの被毛の色と模様を観察し，集計したものである。なお，この地域のネコの集団においてはハーディー・ワインベルグの法則が成り立っているものとして，以下の問いに答えよ。

	被毛色・模様	個体数
①	全身黒色のネコ	15
②	全身茶色（トラ模様あり）のネコ	20
③	全身キジ色（トラ模様あり）のネコ	19
④	黒色と茶色（トラ模様あり）の二色のネコ	10
⑤	茶色（トラ模様あり）と白色の二色のネコ	13
⑥	黒色と白色の二色のネコ	15
⑦	黒色，白色，茶色（渦巻き模様あり）の三毛ネコ	8

表１　ある地域のネコの被毛の色・模様とその個体数との関係

(1)　下記のⅠおよびⅡの遺伝子型を示すネコは表1の何番のネコと推定されるか，表１の①〜⑦から選び，その番号を記せ。なお，下記の茶色遺伝子（$\underline{O}$，o）の遺伝子型表記で，o− は$X^{o}Y$，$\underline{OO}$は$X^{\underline{O}}X^{\underline{O}}$を示すものとする。

Ⅰ．$o-aassMm$　　　　Ⅱ．$\underline{OO}Aa\underline{S}sMM$

(2)　スポット遺伝子$\underline{S}$の遺伝子頻度を記せ。なお，$\underline{S}$の遺伝子頻度をpとした場合，その範囲は，$0 \leqq p \leqq 1$とする。

第３講　興奮の伝導，伝達

【1】　運動神経の末端は狭いすき間を介して筋肉と接しており(神経筋接合部)，この部分は神経と神経の接合部と同様に〔　1　〕と呼ばれる。運動神経が刺激され興奮が神経末端まで到達すると神経伝達物質であるアセチルコリンが〔　1　〕間隙に放出され，筋繊維膜上の受容体に結合し，陽イオンであるカリウムならびに〔　2　〕の透過性が増大する。その結果，筋繊維には終板電位と呼ばれる電位変化が生じ，運動神経の興奮が筋繊維に〔　3　〕される。この終板電位が閾値を越えると筋繊維に〔　4　〕が発生し，筋収縮が生じる。

1950年代，ロンドン大学のバーナード・カッツらは，カエルの神経筋標本の運動神経(坐骨神経)が接している部分の筋繊維に記録電極を刺してその膜電位を測る実験を行っていた(図１)。その際，運動神経を電気刺激していないのに筋繊維に終板電位の$\frac{1}{100}$程度(0.4 mV)の小さい電位が自発的に不規則に発生していることに気づき，終板電位と同じ性質をもつことから微小終板電位と名づけた。彼らは当初，0.4 mVの微小終板電位がアセチルコリン１分子に対する筋繊維の反応の大きさであると考えた。アセチルコリンは正の電荷を持っているので，アセチルコリンをつめた微小ガラス管の内から外に向かって電流を流すことによってアセチルコリンを流出させることができる(図１)。そこで，(a)アセチルコリンをつめた微小ガラス管を神経筋接合部の外表面に置き，電流を流すことによりアセチルコリン複数分子を与えたところ，0.4 mVより小さな振幅の電位が得られた。さらにアセチルコリン１分子が筋繊維に引き起こす反応は0.3 μV程度であることが後になって判明した。

カッツの研究グループはさらにネコの神経筋標本を用いて運動神経の電気刺激によって生じる終板電位の測定を行った。通常の実験条件で運動神経を電気刺激すると終板電位は閾値を越えて〔　4　〕を発生し，終板電位の振幅の測定は困難になってしまう。(b)そこで外液のカルシウムイオン濃度を低くして実験を行った。このような処置をすると運動神経の電気刺激によって発生する終板電位の振幅は小さくなり，閾値に達しなくなった。しかし，微小ガラス管を使ってアセチルコリンを与えた場合は，筋繊維の反応に影響はなかった。このようにして終板電位を何度も発生させ，終板電位の振幅を横軸に，その振幅での出現回数を縦軸にとってヒストグラムを作った(図２)。カッツはこれらの実験結果より神経終末からの神経伝達物質の放出に関する仮説を立て，その後ノーベル賞を得るに至った。

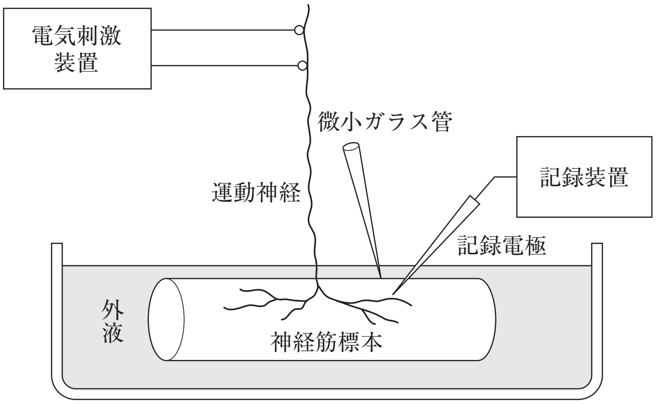


図１　実験装置の模式図

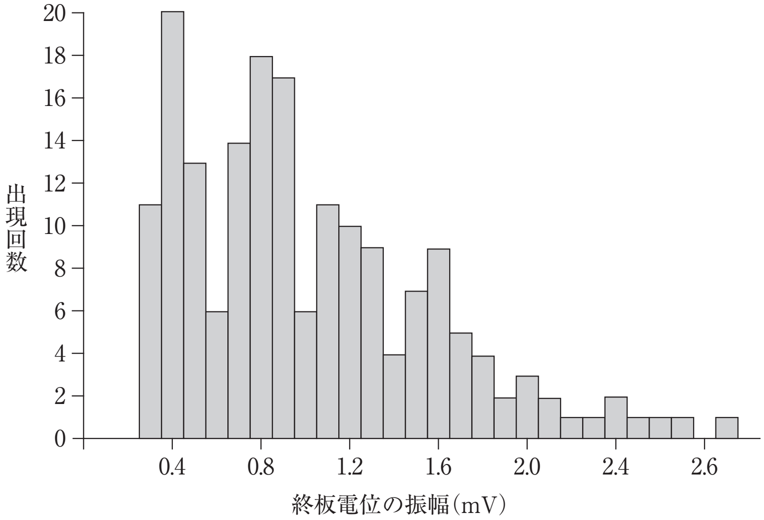


図２　実験結果

問１　文章中の〔　1　〕～〔　4　〕に当てはまる最も適当な語句を記入しなさい。

問２　下線部(a)より，0.4mVの微小終板電位はアセチルコリン何分子に対する筋繊維の反応と考えられるか。有効数字２桁で答えなさい。アセチルコリンの拡散による消失や分解酵素の影響はないものとする。

問３　アセチルコリンをつめた微小ガラス管を筋繊維に刺して，アセチルコリンを筋繊維の内部に注入した場合の予測される結果としてもっとも適切なものを㋐～㋓から１つ選び，記号を記入しなさい。

㋐　外表面に与えた場合よりも大きな電位変化が得られる。
㋑　外表面に与えた場合よりも小さな電位変化が得られる。
㋒　外表面に与えた場合と同じ電位変化が得られる。
㋓　筋繊維に電位変化はほとんど生じない。

問４　下線部(b)のような条件で実験を行うとなぜ終板電位は閾値にまで達しにくくなると考えられるか。以下の㋐～㋓からもっとも適切なものを１つ選び，記号を記入しなさい。

㋐　興奮が神経末端にまで到達しなくなるため。
㋑　放出されるアセチルコリンの量が減少するため。
㋒　アセチルコリンの分解が抑制されるため。
㋓　アセチルコリンの受容体への結合が阻害されるため。

問５　下線部(b)のような外液においても筋繊維を直接刺激すると収縮が生じた。この理由として㋐～㋓からもっとも適切なものを１つ選び，記号を記入しなさい。

㋐　収縮にカルシウムイオンは必要でないため。
㋑　直接刺激による収縮にカルシウムイオンは必要でないため。
㋒　カルシウムイオンは必要だが，筋小胞体より供給されるため。
㋓　カルシウムイオンは必要だが，ミトコンドリアより供給されるため。

問６　図２より微小終板電位と終板電位の振幅の大きさにはどのような関係が認められるか。また，そのことからアセチルコリンの放出に関してどのようなことが推察できるか。100字以内で記述しなさい。

【2】 神経と骨格筋の機能の実験に関する次の文を読み，以下の問に答えなさい。なお，同じ選択肢を複数回答えてもよい。

カエルより脊髄神経繊維束と座骨神経繊維束および骨格筋を摘出した。図1Aに示すように，座骨神経繊維束の中枢側の一部を脊髄腹根側と背根側に分け，神経繊維には電気刺激電極や記録電極となる5つの電極(E1〜E5)，骨格筋には張力測定器を装着し，興奮の伝導と筋収縮に関する実験を行った。図1Bには座骨神経繊維束を構成する個々の神経繊維の直径と，活動電位を発生させる刺激の最小値である閾値（いきち）の関係をグラフで表した。また，図1Cに示すように，E3において１回の電気刺激を加えた時に，細胞外記録電極E4で測定される波形(図中のα)は，興奮にともなう神経繊維束の電位変化を表しており，その大きさは神経繊維束を構成する個々の神経繊維が発生する活動電位が足し合わされたもの(複合活動電位)である。なお，E1が装着してある脊髄腹側神経繊維束の末端部位(図1Aの破線部分)は，直径が異なる5本の神経繊維だけにして他の繊維は切断してある。

以下の設問１〜７の実験では，電気刺激の強さの最大値は神経繊維束のすべての神経繊維が興奮するのに十分な強さを越える値とした。

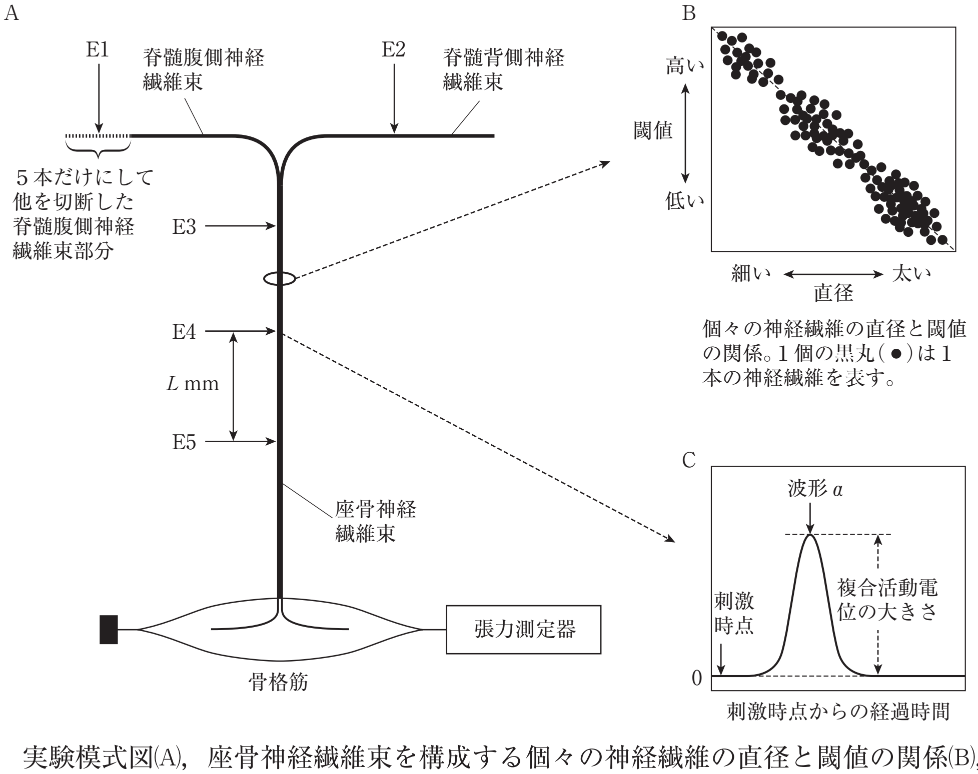


図１　実験模式図(A)，座骨神経繊維束を構成する個々の神経繊維の直径と閾値の関係(B)，複合活動電位の測定例(C)

問1　E3を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)とE4で記録された複合活動電位(波形α)の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図2より答えなさい。

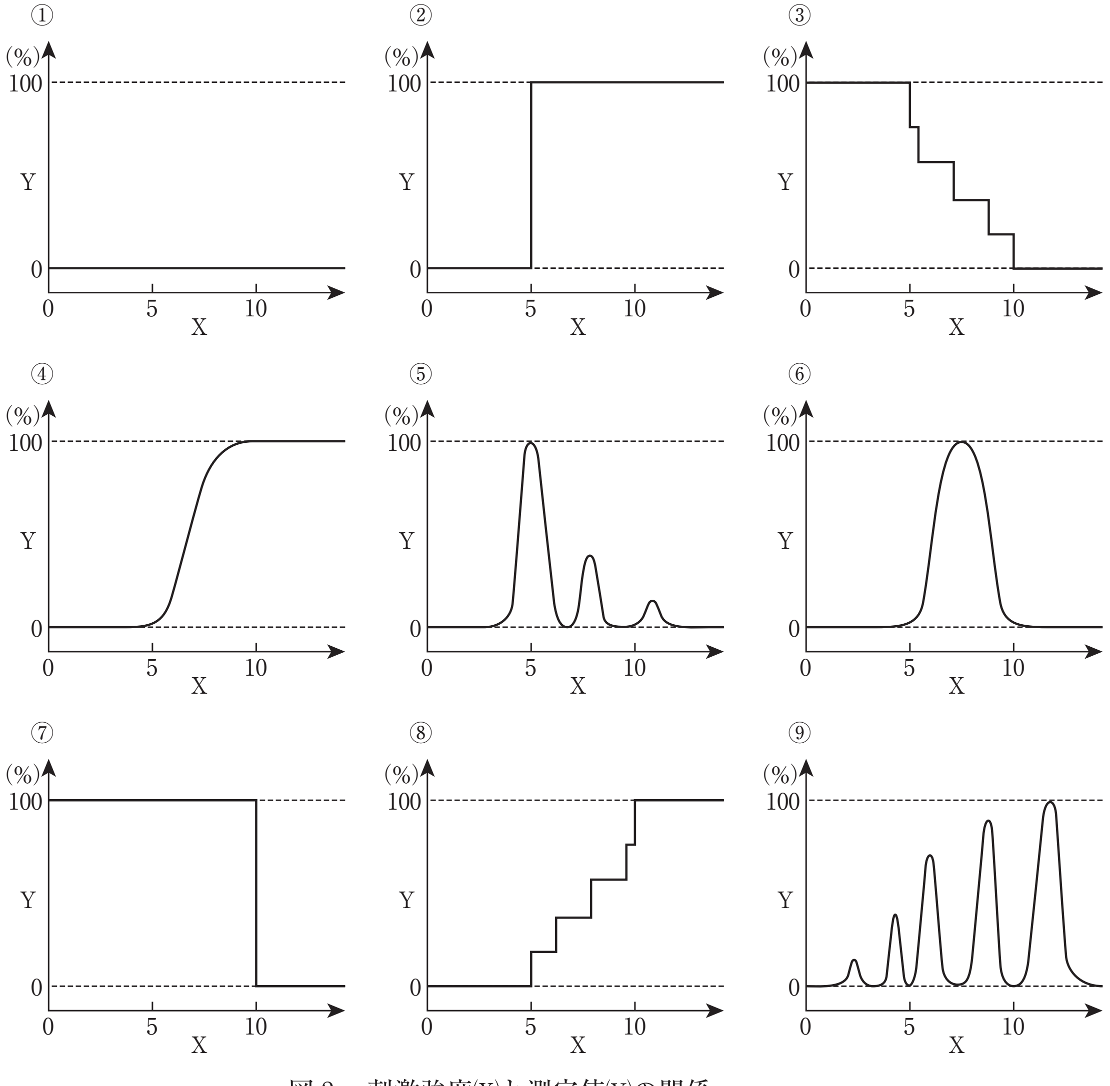


図2　刺激強度(X)と測定値(Y)の関係

X軸は刺激の相対強度，Y軸はそれぞれの実験で得られた測定値の最大値を100%とした場合の相対値を表す。

問2　E3を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)とE1で記録された複合活動電位(波形α　)の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図2より答えなさい。

問 3　E1を刺激電極にして神経繊維束部分を刺激した場合，刺激強度(X)と張力測定器で記録された骨格筋の張力の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図 2 より答えなさい。

問 4　E3を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)と張力測定器で記録された骨格筋の張力の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図 2 より答えなさい。

問 5．E2を刺激電極にして神経繊維束を刺激した場合，刺激強度(X)と張力測定器で記録された骨格筋の張力の大きさ(Y)との関係を表すグラフとして最も適切なものを図 2 より答えなさい。

問 6　E3を刺激電極にして図1Cよりも刺激を強めると，E4において波形βが新たに現れ，さらに刺激を強めると，図3Aに示すように刺激時点から検出された時点までの経過時間が異なる3種類の複合活動電位(波形α，β，γ)が部分的に重なったものが観察できた。図3Aの場合と同じ刺激強度の条件でE4からＬmm離れたE5で測定すると，図3Bに示すように 3 種類の波形の時間間隔はさらに拡がった。刺激時点からそれぞれの波形の頂点(図中の•)が検出された時点までの経過時間を図 3 の数値(単位はミリ秒)から読み取り，以下の問に答えなさい。

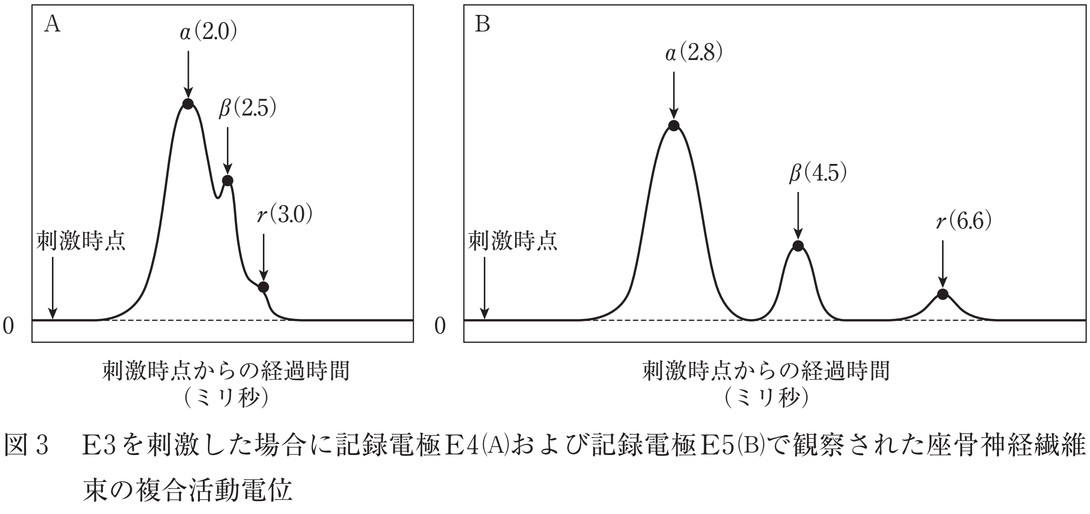


図 3　E3を刺激した場合に記録電極E4(A)および記録電極E5(B)で観察された座骨神経繊維束の複合活動電位

(　)内の数値は，刺激時点からそれぞれの波形の頂点(図中の •)が検出された時点での経過時間(ミリ秒)を示す。

⑴　座骨神経繊維束の構成神経繊維のうち，波形βを生じさせる神経繊維の平均伝導速度が18m/秒であったとすると，E4とE5の間の距離Lは何mmか。

⑵　E4とE5の間において，波形γ を生じさせる神経繊維の平均伝導速度は波形αを生じさせる神経繊維の平均伝導速度の何倍か。最も適した数値を答えなさい。

②　$\frac{1}{5}$　　②　$\frac{2}{9}$　　③　$\frac{1}{4}$　　④　$\frac{2}{7}$　　⑤　2.5　　⑥　3.0

⑦　3.5　　⑧　4.0　　⑨　4.5　　⑩　5.0

問７　座骨神経繊維束を構成している個々の神経繊維についての記述として適切なものを答えなさい。

A．直径が太い神経繊維ほど，伝導速度は遅くなる。
B．直径が太い神経繊維ほど，伝導速度は速くなる。
C．閾値が高い神経繊維ほど，伝導速度は遅くなる。
D．閾値が高い神経繊維ほど，伝導速度は速くなる。

①　Aのみ　　②　Bのみ　　③　Cのみ　　④　Dのみ　　⑤　A，C
⑥　A，D　　⑦　B，C　　⑧　B，D

第３講　確認テスト

角膜－水晶体－ガラス体を透過した光は，網膜に投影され，網膜上にある視細胞により受容される。視細胞は, 光に対する応答性と形の違いから［ア］と［イ］の２つに区別できる。［ア］には青色，緑色，赤色の光をよく吸収する色素をもつ3種類があり，これらの細胞は，［ウ］と呼ばれる視軸の中心部付近に多く存在している。視細胞で感知された光情報は，連絡神経細胞を介して視神経細胞へと受け渡される。視神経細胞の［エ］は，網膜上の一箇所に集まり，束となって網膜を貫き，脳へと接続する。この場所は, ［オ］と呼ばれ，視細胞が存在していないため，光の受容ができない。

問１　文中の［ア］～［オ］に最も適切な用語をそれぞれ１つずつ選べ。

［ア］　①　色素細胞　②　かん体細胞　③　コルチ器官　④　錐体細胞

［イ］　①　マイスナー小体　②　虹　彩　③　錐体細胞　④　かん体細胞

［ウ］　①　盲　斑　②　卵円窓　③　黄　斑　④　毛様体

［エ］　①　軸　索　②　シナプス　③　樹状突起　④　視　索

［オ］　①　盲　斑　②　中心窩　③　樹状突起　④　脈絡膜

問２　下の図は，ヒト視細胞の波長感受性を示したものである。

・ ア の視細胞の波長感受性に相当するものをすべて選べ。
・ イ の視細胞の波長感受性に相当するものをすべて選べ。

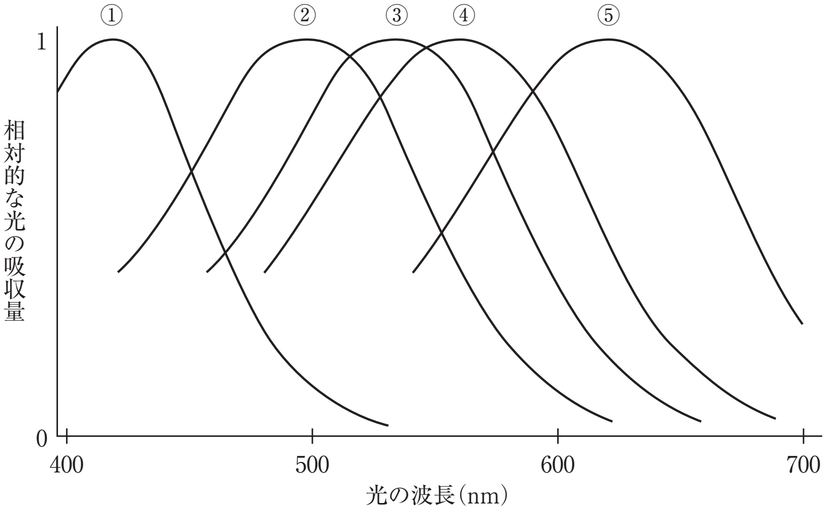


図１

問３　網膜上の オ の位置を調べるために以下の実験を行った。被験者の眼球の直径を25mmとした場合，以下の問に答えよ。

記録用紙(下図)を，＋印(注視点)が被験者の右目の真正面50cmの位置にくるように固定する。被験者は，左目を完全に手で覆い，注視点を右目でみつめる。試験者は，被験者に注視点を見つめさせたまま，指示棒を注視点からゆっくりと右に動かし，指示棒の先端が被験者から見えなくなった位置Aと再び見えはじめた位置Bを記録した。その結果，Aは注視点から8cmの位置に，Bは，注視点から11.2cmの位置にあることがわかった。

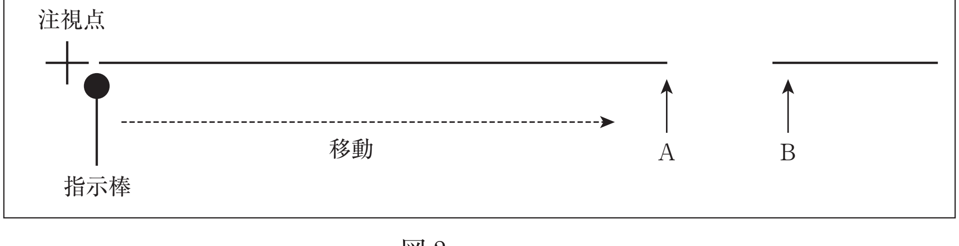


図２

オ の直径に最も近い値を選べ。

①　1.0mm　　②　1.2mm　　③　1.4mm　　④　1.6mm

問４　被験者の正面に①から⑨までの番号を書かれた紙が等間隔でならべられている。向かって左端の紙に①，右端の紙に⑨と書かれている場合，被験者が眼球を動かさずに正面をみると，②～⑧の紙を見ることができる。また，このとき，左目を閉じると③～⑧の紙だけが，右目を閉じると②～⑦の紙だけが見える。

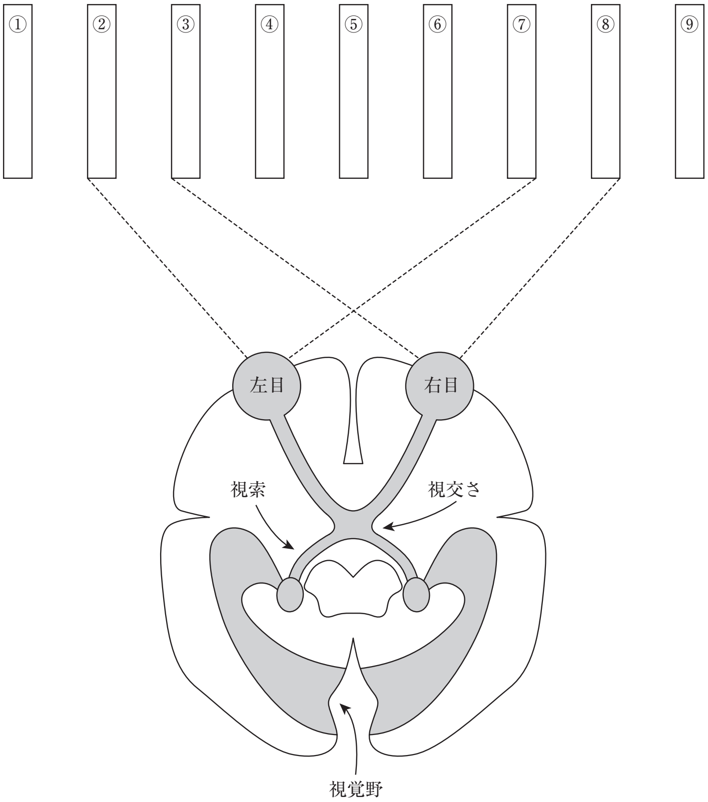


図３

以下の(1)～(3)に答えよ。ただし，被験者は，眼球を動かさずに正面をみることとする。

(1)　右目を閉じたときに被験者の左脳の視覚野に提示される番号はどれか，①～⑨からすべて選べ。

(2)　被験者の視交さにおいて，交差している神経繊維のみが切断された場合，被験者が見ることができる番号はどれか，①～⑨からすべて選べ。

(3)　被験者の左脳の視索が切断された場合，左目のみで見ることができる番号はどれか，①～⑨からすべて選べ。

第４講　拒絶反応，抗原抗体反応

【1】　臓器が不可逆的な機能不全に陥った場合の治療法の１つとして，他人から臓器の提供を受ける臓器移植がある。臓器移植において，臓器を提供する側をドナー，移植を受ける側をレシピエントという。異なる個体間で行われるヒトからヒトへの臓器の移植は，同種異系移植と呼ばれる。

通常，異系移植では，ドナーからの移植臓器がレシピエントのＴ細胞に非自己として認識されて活性化する免疫反応，いわゆる〔　ア　〕を起こす。非自己と認識される移植抗原として重要なものに〔　イ　〕分子があり，その遺伝子は多型性に富んでいる。この移植片に対する免疫反応には，〔　ウ　〕性免疫と〔　エ　〕性免疫によるものとがあり，①〔　ウ　〕性免疫が活性化されると，キラーＴ細胞によって移植片が攻撃される。また〔　エ　〕性免疫の活性化では，移植片に特異的な抗体が産生され，その抗体が移植片の抗原と結合して補体系の活性化や抗体依存性細胞傷害が生じる。

〔　ア　〕が生じるには〔　イ　〕分子の発現や免疫担当細胞との遭遇などが求められるが，角膜移植では〔　ア　〕は生じにくい。これは，角膜には〔　オ　〕がないことが大いに関係する。

問１　文章中の〔　ア　〕～〔　エ　〕に入る適切な語句を記入しなさい。

問２　〔　オ　〕に入る適切な語句を(a)～(e)の中から１つ選びなさい。

(a)　筋組織　(b)　血　管　(c)　神　経　(d)　上　皮　(e)　結合組織

問３　下線部①の免疫反応と，ABO式血液型でＡ型のヒトの赤血球をＢ型のヒトに輸血するようなABO式血液型不適合輸血時に生じる免疫反応とは異なる。このABO式血液型不適合輸血時に生じる免疫反応の起点となる反応を，簡潔に20字以内で答えなさい。

次に以下に示す２つの移植実験を行った。各実験開始時に準備するマウスは〔　イ　〕分子をコードする遺伝子を含めてほとんどの遺伝子が同じ対立遺伝子を持つホモ接合体となっており，同系統のマウス間は遺伝的に同一とみなせる。また，本実験では移植片の〔　イ　〕分子の異同が認識されることによってその生着が決まり，遺伝的に異なる系統のマウス間での皮膚移植では〔　イ　〕分子の類似性によって，移植片が生着することはないとする。そして，移植片の生着の判定は予備実験にて適切とされた時期とし，観察した期間では皮膚移植を受けた部位の感染は生じなかったものとする。ただし，文章中および各実験に関する説明文の〔　イ　〕には問1の〔　イ　〕と同じ語句が入る。

〔実験１〕

遺伝的に異なる２系統のマウスを用いて交配を行う。生まれた子が生殖可能となった時点で，その親マウスとの間で皮膚移植を行った。ただし，用いたマウスには遺伝的な胸腺欠如や〔　イ　〕分子の欠失はない。

問４　親から子へ移植した移植片と子から親へ移植した移植片それぞれについて，皮膚移植片が生着する場合には○を，移植片が生着しない場合には×を記入しなさい。

〔実験２〕

実験の略図を図１に示し，用いた成体マウスの特徴を以下に記す。

・マウスA，BおよびCは互いに遺伝的に異なる3種類の系統である。
・マウスAは遺伝的に胸腺を欠如した免疫不全マウスであるが，〔　イ　〕分子は欠失していない。
・マウスBは〔　イ　〕分子を欠失したマウスである。
・マウスCは遺伝的な胸腺欠如や〔　イ　〕分子の欠失はない。

まず，マウスAにマウスCの胸腺を移植する。この胸腺が移植されたマウスに，マウスAと同系統のマウス，マウスBおよびマウスCから皮膚移植を行った。マウスAと同系統のマウスからの皮膚移植片，マウスBからの皮膚移植片およびマウスCからの皮膚移植片をそれぞれ移植片a，bおよびcとする。

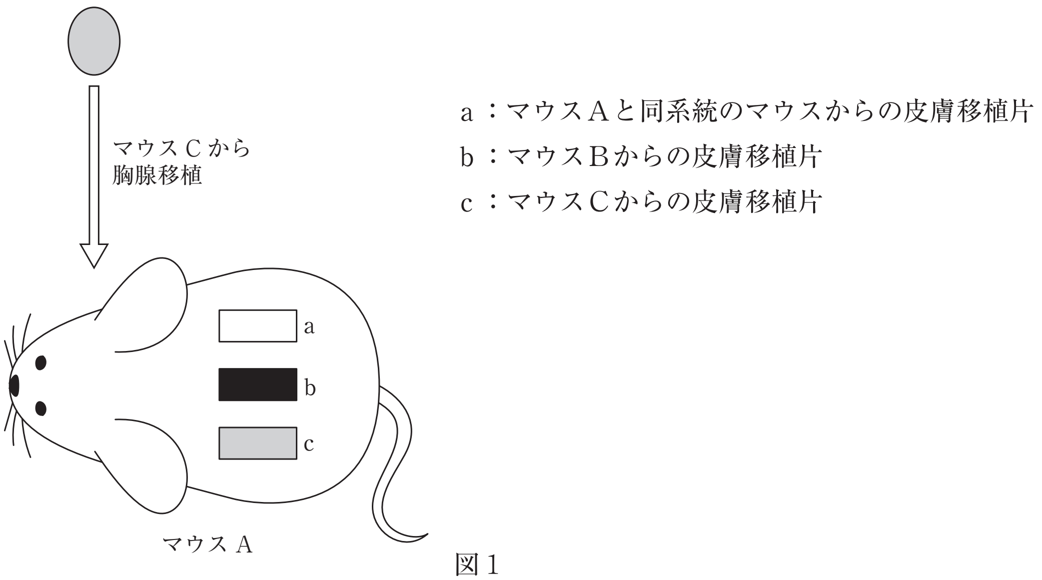


図１

問５　移植片a，bおよびcそれぞれについて，移植片が生着する場合には○を，移植片が生着しない場合には×を記入しなさい。ただし，この判定は移植を受けたマウスが死亡する前に行うものとする。

問６　実験２で胸腺と皮膚の移植を受けたマウスは，その後移植片にとどまらず，全身に免疫反応が現われて死に至る。このマウスＡの全身に現われた免疫反応について，簡潔に80字以内で説明しなさい。

【2】　次の文1と文2を読み，ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文1〕

免疫系には，抗体が主役となる[1]性免疫と，リンパ球などの免疫細胞が主役となる細胞性免疫がある。

抗体はB細胞で産生される[2](Ig)というタンパク質である。代表的なIgであるIgGという分子は，図1－1に示すように，重鎖と軽鎖というポリペプチドが2本ずつで構成され，ジスルフィド結合で結ばれている。各ポリペプチドは可変部と定常部からなる。Y字型に開いた2つの腕の先端部分に存在する溝状の構造を抗原結合部位とよぶ。(ア)抗原と抗体の結合の強さは，抗原結合部位の立体構造と，抗体と結合する抗原表面の部分（抗原決定部位）の立体構造の相補性により決まる。適切なタンパク質分解酵素を用いると，抗原結合部位の立体構造を変化させずに，抗原結合部位を含む断片(Fab)とそれ以外の断片(Fc)に，IgGを分断できる。ここでは，図1－1に示すように，それぞれの部分をFab，Fcとよぶ。

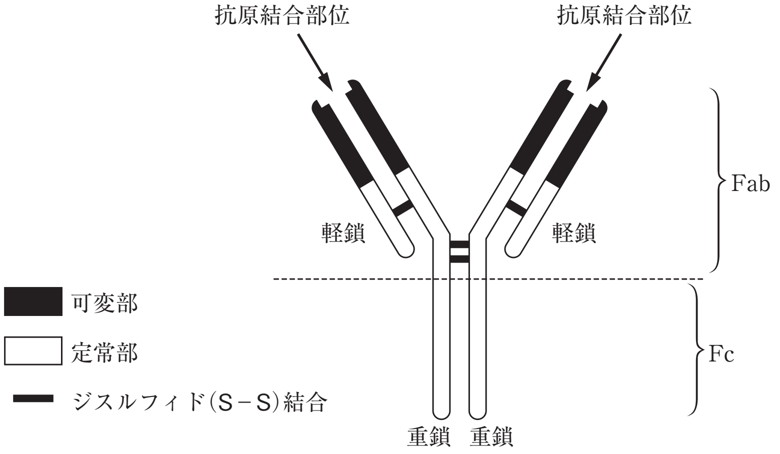


図1－1　IgGの模式図

重鎖の可変部は，V，D，Jとよばれる3つの遺伝子断片にコードされている。未分化なB細胞の染色体には，異なる配列をもつ遺伝子断片が，それぞれ数個～数十個存在する。B細胞が分化するとき，個々のB細胞で，V，D，Jの遺伝子断片が1つずつ選ばれて連結し(DNA再編成)，1個のB細胞では1種類の固有のアミノ酸配列が決定される。軽鎖の可変部についても，V，Jの2つの遺伝子断片によるDNA再編成がおこる。その結果，個々のB細胞は異なる抗原特異性をもつ抗体を産生する。ある抗原に対する抗体を産生することができるB細胞が，生体内で，その抗原と出会うと，増殖（クローン増殖）し，抗体を産生する。このため，その抗原に対する血清中の抗体量が増える。リンパ球の1種である[3]は，B細胞のクローン増殖を調節する。

マウスにヒトのがん細胞に対する抗体を産生させるため，次の実験を行った。

実験１　ヒトの白血球由来のがん細胞Ｘの表面タンパク質Ｙと，正常なマウスの白血球の表面タンパク質Ｚを単一に精製した。ＹはＸにのみ発現しており，正常なヒトの細胞には発現していない。ＹとＺを同じ濃度で生理的食塩水に溶解し，2匹のマウスに，それぞれ2回ずつ同量注射した。経時的にマウスから血清を分離し，一定量のＹおよびＺに対する，血清中の抗体の反応の強さ（抗体力価）を測定した。その結果，図１－２のように，(イ)Ｙを注射した場合，1回目の注射で抗体力価は弱く上昇したが，2回目の注射では強く上昇した。一方，Ｚを注射した場合には，抗体力価はまったく上昇しなかった。

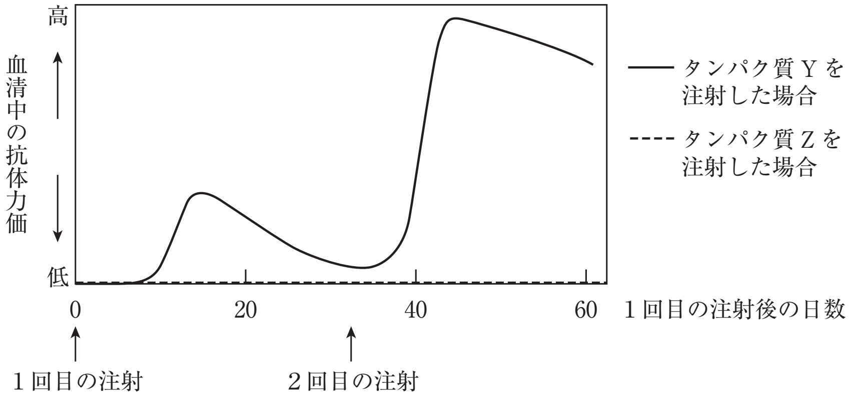


図１－２　タンパク質ＹとＺを注射したマウスの抗体力価の経時的変化

〔文２〕

毒素やウイルスが抗原の場合，抗体が結合するだけで抗原を不活性化することがある。ところが，病原菌やがん細胞が抗原の場合，抗体が結合するだけでは抗原細胞を殺せないことが多い。しかし，たとえば，Fab部分で抗原細胞と結合したIgG抗体のFc部分が，マクロファージの表面にある，Fcに対する受容体と結合すると，抗体を介して結合した抗原細胞に対するマクロファージの食作用が容易になり，抗原細胞が排除されることがある。

がん細胞に対するモノクローナル抗体を用いた，がんの治療が行われている。モノクローナル抗体を作製するには，まず，動物に目的の抗原を注射して，その抗原に特異的な抗体を産生するＢ細胞を体内でクローン増殖させる。(ウ)Ｂ細胞を多く含む器官からＢ細胞を分離し，無限増殖能をもつミエローマ細胞と融合させる。つぎに，目的の抗原と結合する抗体を産生する融合細胞を1個選び，培養液中で増殖させると，培養液から単一の抗原特異性をもつモノクローナル抗体が得られる。この方法により，実験１においてＹに対して十分に血清中の抗体力価が上昇したマウスから，Ｂ細胞を分離して，Ｙに対するモノクローナルIgG抗体（mab1）を作製した。しかし，ヒトのがん細胞Ｘの培養液にmab1を大量に加えても，mab1はＸの細胞表面に結合するのに，Ｘの増殖は抑制しなかった。

通常は，ヒトの細胞を正常なマウスに注射すると，Ｘのようながん細胞であっても，強

い免疫反応がおこって，ヒトの細胞は排除される。しかし，(エ)遺伝的に胸腺の形成不全を示すヌードマウスに，ヒトのがん細胞Ｘを注射したところ，血液中でＸが増殖した。そこで，がん細胞Ｘに対するmab1の効果を調べるため，このヌードマウスを用いて，次の実験を行った。

実験２　ヒトのがん細胞Ｘが血液中で増殖している２匹のヌードマウスに，精製したmab1と正常なマウス血清から精製したIgG（正常マウスIgG）を，同じ濃度で生理的食塩水に溶解し，それぞれ，同量注射した。経時的にヌードマウス血液中のがん細胞Ｘの細胞数を計測した結果，正常マウスIgGを注射した場合は，がん細胞Ｘの細胞数は増加していたが，mab1を注射した場合は，しばらくすると，がん細胞Ｘは血液中にまったく見られなくなった。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　文中の空欄 1～3 に適切な語を入れよ。

B　下線部(ア)について。抗原決定部位と抗原結合部位の結合様式として正しいものを，以下の(1)～(5)からすべて選べ。

(1)　ペプチド結合　(2)　ジスルフィド結合

(3)　ファンデルワールス力　(4)　水素結合　(5)　イオン結合

C　ある１種類のIgG抗体が，異なる病原体ＯおよびＰのいずれとも，抗原抗体反応によって特異的に強く結合した。その理由を60字程度で述べよ。

D　実験１について。２種類の変異マウス，$Y^{+/+}$マウスと$Z^{-/-}$マウスに，実験１と同様にＹとＺをそれぞれ注射して，抗体を産生させる場合を考える。ここで，$Y^{+/+}$マウスはヒトのタンパク質Ｙの遺伝子をマウスの染色体に組み込んで，Ｙを細胞表面に発現させた変異マウスであり，$Z^{-/-}$マウスは，マウスのタンパク質Ｚを先天的につくれない変異マウスである。$Y^{+/+}$マウスにＹを注射した場合は，Ｙに対する血清中の抗体力価は上昇しなかった。一方，$Z^{-/-}$マウスにＺを注射した場合は，Ｚに対する血清中の抗体力価は上昇した。それらの結果が得られた理由を100字程度で述べよ。

E　下線部(イ)について。２回目のＹの注射後，抗体力価が著しく上昇した説明として適切なものを，以下の(1)～(5)からすべて選べ。

(1)　１回目のＹの注射によりＢ細胞が産生した抗体は，リンパ組織に貯蔵されていた。２回目のＹの注射によりその抗体が一挙に血液中に放出された。

(2)　１回目のＹの注射によりＢ細胞が産生した抗体は，血清中に残っていた。２回目のＹの注射によりその抗体自体のＹとの結合が著しく強くなった。

(3)　１回目のＹの注射によりクローン増殖したＢ細胞の一部が，記憶Ｂ細胞として残っていた。２回目の注射によりその記憶Ｂ細胞がすばやく増殖したため，Ｙと結合できる抗体の産生量が著しく多くなった。

(4)　１回目のＹの注射によりクローン増殖したＢ細胞の一部が，記憶Ｂ細胞として残っていた。２回目の注射によりその記憶Ｂ細胞にDNA再編成が起きて，Ｙと結合できる抗体の種類が著しく増えた。

(5)　１回目のＹの注射によりクローン増殖したＢ細胞の一部が，記憶Ｂ細胞として残っていた。２回目の注射によりその記憶Ｂ細胞にDNA再編成が起きて，１回目より著しく強くＹと結合できる抗体を産生した。

Ⅱ　文2について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ウ)について。B細胞を多く含む器官として適切なものを，以下の(1)〜(5)からすべて選べ。

(1)　リンパ節　(2)　ひ　臓　(3)　脳　(4)　すい臓　(5)　胸　腺

B　下線部(エ)について。遺伝的に胸腺の形成不全を示すヌードマウスでは，なぜヒトのがん細胞Xは排除されなかったのか。100字程度で述べよ。

C　mab1のFab(mab1-Fab)とFc(mab1-Fc)を作製し，以下の(1)〜(4)を，実験2で用いたmab1と同じ濃度で，生理的食塩水に溶解した。Xが血液中で増殖している4匹のヌードマウスに，実験2と同じ方法で，それぞれ，同量注射した。最も強くXの増殖を抑制すると考えられるものを，以下の(1)〜(4)から1つ選べ。また，その理由を70字程度で述べよ。

(1)　精製したmab1-Fab
(2)　精製したmab1-Fc
(3)　精製したmab1-Fabとmab1-Fcを等量混合したもの
(4)　精製したmab1

第４講　確認テスト

ほ乳類の免疫現象に関する次の文章１～文章３を読み，以下の問１～問７に答えよ。

文章１　ヒトの免疫担当細胞のほとんどは骨髄で発生する。その後，あるものは胸腺やひ臓などの器官で成熟，分化する。免疫には体液性免疫と細胞性免疫がある。体液性免疫においては，体内に侵入した異物はまずマクロファージによって捕えられ，その抗原情報はＴ細胞に伝えられ，Ｔ細胞によって活性化されたＢ細胞が増殖，分化して血しょう中に免疫グロブリンを分泌する。

問１　骨髄についての記述として最も適切なものをa)～e)のうちから１つ選べ。ただし，適切なものがない場合はｆと答えよ。

a)　脊髄の中心にある空洞の中にある。
b)　脊つい骨を首から腰まで貫く空洞の中にある。
c)　脊つい骨の周囲に付随した血液に富む組織である。
d)　手や足の骨の中心にあいている空洞の中にある。
e)　手や足の骨の周囲に付随した血液に富む組織である。

問２　胸腺とひ臓についての記述として適切なものを，それぞれa)～d)のうちから全て選べ。ただし，適切なものがない場合はｅと答えよ。

胸腺　　　　　　　　　ひ臓

a)　Ｔ細胞が成熟する器官である。　　b)　心臓に隣接している器官である。
c)　胃に隣接している器官である。　　d)　腋（わき）の下などにある器官である。

問３　マクロファージについての記述として適切なものをa)～e)のうちから全て選べ。ただし，適切なものがない場合はｆと答えよ。

a)　体の細胞の中で食作用を示す唯一の細胞である。
b)　抗体と結合した抗原の除去にも関わる。
c)　細胞性免疫においても異物の情報をＴ細胞に伝える。
d)　異物を認識するとその一部は記憶細胞として残る。
e)　ヒスタミンを放出し，アレルギー反応を起こす。

文章2　タンパク質Aをタンパク質分解酵素で分解するとペプチドBとペプチドCに分かれた。2つのペプチドを別々のマウスに注射し，それぞれに対するモノクローナル抗体を作製した。

モノクローナル抗体とは，含まれている免疫グロブリン分子の全てが全く同一のアミノ酸配列を持つ抗体であり，したがって，抗原となる分子のある決まった一か所にしか結合することができない。

通常の抗体には多くの種類の免疫グロブリン分子が含まれており，1つの抗原分子の複数の場所に免疫グロブリン分子が結合する。免疫グロブリン分子は2つの抗原結合部位を持つので，抗原と免疫グロブリン分子は互いに鎖状につながった巨大な複合体を作って沈殿となる(図1)。それに対し，抗原分子上の一か所にしか結合できないモノクローナル抗体は，抗原と混合しても沈殿を作ることができない(図2)。

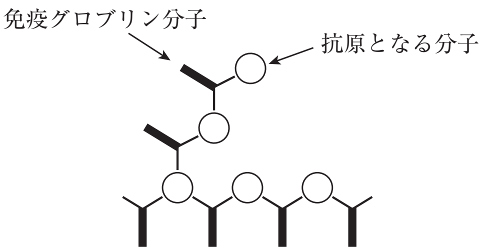


図1

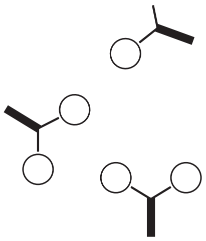


図2

免疫グロブリン分子はタンパク質分解酵素によって分解される。図3はタンパク質分解酵素パパインと，タンパク質分解酵素ペプシンが免疫グロブリン分子を切断する部位を示している。

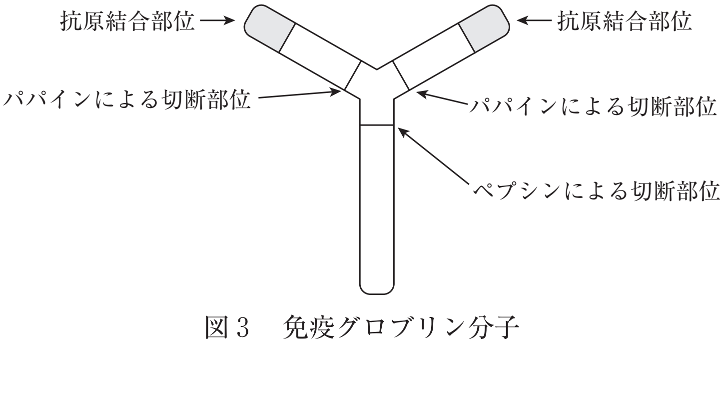


図3　免疫グロブリン分子

問４　文章２で作製したモノクローナル抗体から次の①〜⑥の試料を作製し，a)〜f)のような混合物を作った。これらの混合物のうち，抗原抗体反応による沈殿物ができるものを全て選べ。ただし，該当するものがない場合はｇと答えよ。

①　ペプチドＢに対するモノクローナル抗体
②　ペプチドＢに対するモノクローナル抗体のパパイン消化物
③　ペプチドＢに対するモノクローナル抗体のペプシン消化物
④　ペプチドＣに対するモノクローナル抗体
⑤　ペプチドＣに対するモノクローナル抗体のパパイン消化物
⑥　ペプチドＣに対するモノクローナル抗体のペプシン消化物

a)　①と④とタンパク質Ａの混合物
b)　①と⑤とタンパク質Ａの混合物
c)　①と⑥とタンパク質Ａの混合物
d)　②と⑤とタンパク質Ａの混合物
e)　②と⑥とタンパク質Ａの混合物
f)　③と⑥とタンパク質Ａの混合物

文章３　移植された組織片が拒絶されるのは免疫反応の結果であり，細胞表面には自己，非自己の識別に関わる抗原が存在する。この抗原は複数の遺伝子座にある遺伝子によってつくられる。また，それぞれの遺伝子座には多くの複対立遺伝子がある。それらについて，ここでは次のように仮定する。

仮定１：遺伝子座はＡとＢとＣの３種類である。それぞれは独立であるとする。
仮定２：A，B，Cのそれぞれに２つずつの対立遺伝子，A_1とA_2，B_1とB_2，C_1とC_2がある。
仮定３：自己が持つ抗原タンパク質と異なる抗原を持つ移植片は拒絶されるが，そのような抗原を持たない移植片は拒絶されない。たとえば，遺伝子型が$A_1A_1B_1B_1C_1C_2$の移植片は，遺伝子型が$A_1A_1B_1B_1C_1C_1$の個体によって拒絶されるが，遺伝子型$A_1A_2B_1B_2C_1C_2$の個体によって拒絶されない。

いま，遺伝子型が$A_1A_1B_1B_2C_1C_2$の父親と，遺伝子型が$A_1A_2B_2B_2C_1C_2$の母親がいたとする。

問５　文章３の父親および母親が拒絶する移植片の遺伝子型を，それぞれa)～e)のうちから全て選べ。

父親　　　　母親

a)　$A_1A_1B_2B_2C_1C_2$　　b)　$A_1A_1B_2B_2C_2C_2$　　c)　$A_1A_2B_1B_1C_2C_2$
d)　$A_1A_2B_1B_2C_1C_2$　　e)　$A_2A_2B_2B_2C_1C_1$

問６　文章３の父親と母親の間に生まれた子供が，遺伝子型$A_1A_1B_2B_2C_1C_2$の組織片を拒絶する確率を，小数第一位を四捨五入して求めよ。

問７　文章３の父親と母親の間に生まれた子供が，遺伝子型$A_1A_2B_2B_2C_1C_2$の組織片を拒絶する確率を，小数第一位を四捨五入して求めよ。

第５講　膜タンパク質，糖の取り込み

【1】　次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

私たちの身体をつくる細胞はリン脂質とタンパク質でできた細胞膜におおわれている。細胞膜を作るタンパク質の１つにナトリウム・カリウムATPアーゼ(ナトリウムポンプ)がある。ナトリウム・カリウムATPアーゼは細胞膜を貫通するタンパク質で，①細胞内で産生されたATPの分解で発生するエネルギーを使ってNa^+とK^+を能動輸送する。②一方，受動輸送にはイオンチャネルとよばれるタンパク質などが関与する。

細胞膜をつくるリン脂質だけを取りだして試験管の中でリポソームという人工膜小胞を作ることができる。リポソームは半透膜の性質を持っている。③細胞膜の特定のタンパク質を精製してリポソームに組み込むと，組み込んだタンパク質固有の性質を詳しく調べることができる。

異なる２種類の細胞をポリエチレングリコールなどの薬剤で融合させ，しばらく観察を続けると，２つの細胞の細胞膜に由来するリン脂質とタンパク質は混ざり合い，④融合してできた細胞の細胞膜全域にわたって均一に分布する場合があることが知られている。一方，⑤リン脂質やタンパク質が細胞膜の場所によって異なる分布を示す場合もある。細胞膜の分子がどのように分布するかは細胞全体の機能にとって非常に重要である。

問１　下線①と同様に，ATPの分解で発生したエネルギーを使う現象に筋原繊維の収縮がある。この現象に直接関与するATPアーゼは何という分子か。

問２　神経細胞間の情報伝達では下線②の性質を持つイオンチャネルが重要な役割を果たす。アセチルコリンを神経伝達物質として，ニューロンＡからニューロンＢに情報が伝達されるシナプスについて，ニューロンＢの受容体にアセチルコリンが結合したために最初に開くイオンチャネルを通るイオンは何か。

問3　ナトリウム・カリウムATPアーゼは細胞膜を貫通するタンパク質であり，細胞膜では常に分子の特定の部位を細胞の外側に向け，別の特定の部位を細胞の内側に向けている。下線③のようにしてナトリウム・カリウムATPアーゼを組み込んだリポソームを作製し，体液と同じイオン組成の液に入れて実験を行った。

図1に示すように，リポソームに組み込んだナトリウム・カリウムATPアーゼがA～Cの3つの異なる向きを取るようにした。すなわち，本来，細胞の外側に面している部位が，全てリポソームの外側に向くようにしたもの(A)，全てリポソームの内側に向くようにしたもの(B)，リポソームの内側，外側に向くものが半数ずつ混在するようにしたもの(C)，の3種類である。これらのリポソームを用いて37℃の液中で実験1～3を行った。なお実験開始時のリポソームの内側には外側と同じ液が含まれるようにした。

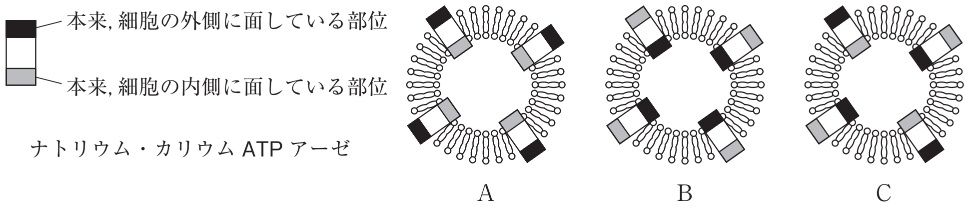


図1

実験1　(A)～(C)のリポソームの外側の液にATPを添加した。
実験2　(A)のリポソームの外側の液にクレアチンリン酸を添加した。
実験3　(B)のリポソームの内側の液のNa^+濃度を外側より20ミリモル/L低くし，逆にK^+濃度は外側より20ミリモル/L高くした。この条件でリポソームの外側の液にATPを添加した。

それぞれの実験において，リポソームの内側のNa^+，K^+濃度は実験開始時に比較してどのように変化するか。以下のa～iの中から選び，記号で答えよ。

	Na^+濃度	K^+濃度
a	高くなる	高くなる
b	高くなる	変わらない
c	高くなる	低くなる
d	変わらない	高くなる
e	変わらない	変わらない
f	変わらない	低くなる
g	低くなる	高くなる
h	低くなる	変わらない
i	低くなる	低くなる

問４　下線④のような細胞膜の性質を調べるために一種類の培養細胞をもちいて次のような実験を行った。細胞膜に存在するタンパク質X，YにGFP(下村脩によってオワンクラゲから精製されたタンパク質で，特定の波長の光を吸収して緑色蛍光を発する)をつなぎ合わせた分子(以下GFP－X，GFP－Yと呼ぶ)の遺伝子をそれぞれ別々の細胞に導入し，タンパク質を作らせる。このタンパク質分子を直接見ることはできないが，GFPが発する蛍光により，細胞膜全体にGFP－X，GFP－Yが一様に分布することを観察できる。細胞膜のごく狭い領域に短時間，強いレーザー光を照射すると，その瞬間にレーザー照射部に存在したほとんどのGFP分子の蛍光を消すことができる。レーザー照射されたGFP分子は蛍光を発することができなくなり，その能力が回復することもないが，それ以外の性質には変化がない。その後，細胞の培養を続けると，レーザー光を照射した領域の細胞膜の蛍光は徐々に回復してくる。GFP－X，GFP－Yそれぞれについて，レーザー照射した細胞膜領域の蛍光強度の変化を時間軸にそって表すと図2のようになった。グラフの縦軸は同じ細胞膜領域の相対的蛍光強度を示し，レーザー照射直前の蛍光強度を1とした。時間aが経過した時点でGFP－X，GFP－Yの相対的蛍光強度はそれぞれ0.74，0.50であった。設問(1)および(2)に答えよ。

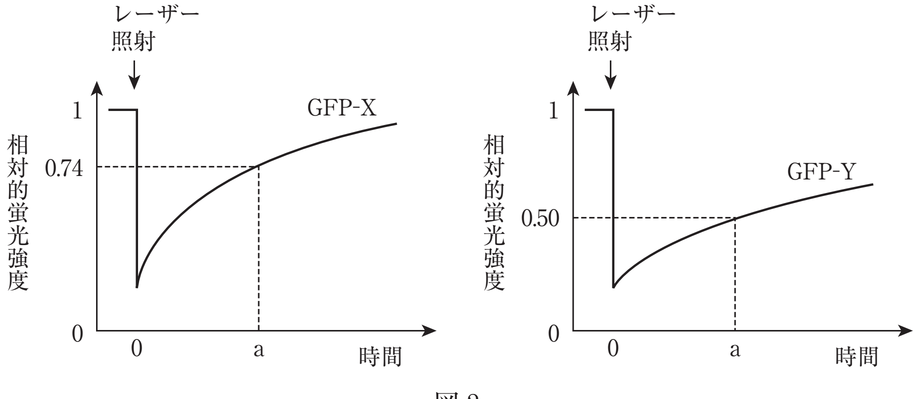


図２

設問(1)　レーザー照射部でいったん低下した蛍光強度が徐々に回復してくるのはなぜか。70字以内で説明せよ。なおグラフに示された時間内では細胞膜に存在するGFP－X，GFP－Yの量は変化しないものとする。

設問(2)　グラフに示されたGFP－X，GFP－Yの蛍光強度の時間的推移が異なるのはなぜか。30字以内で説明せよ。

問５　下線⑤の例として，図３のような場合を考える。細胞は互いにつながって空間Ｐと空間Ｑを隔てており，空間Ｐから外側の空間Ｑに向かってNa^+が輸送される。Na^+は細胞と細胞の間を通ることはなく，細胞の中を経由して輸送され，細胞膜にあるナトリウム・カリウムATPアーゼとナトリウムチャネルが重要な役割を担うことがわかっている。なお空間Ｐ, Ｑおよび細胞内のNa^+, K^+の濃度は図中に示すとおりである(単位はミリモル/L)。

空間Ｐから空間ＱにNa^+が効率的に輸送されるために，ナトリウム・カリウムATPアーゼとナトリウムチャネルはどのように分布することがもっとも合理的であると考えられるか。以下のａ～ｉの中から選び，記号で答えよ。

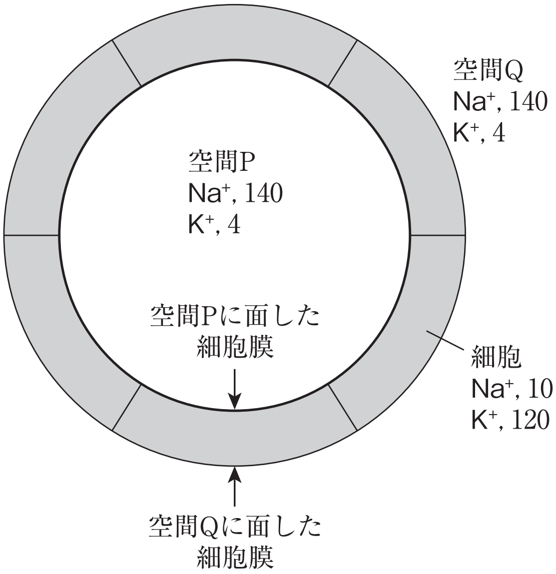


図3

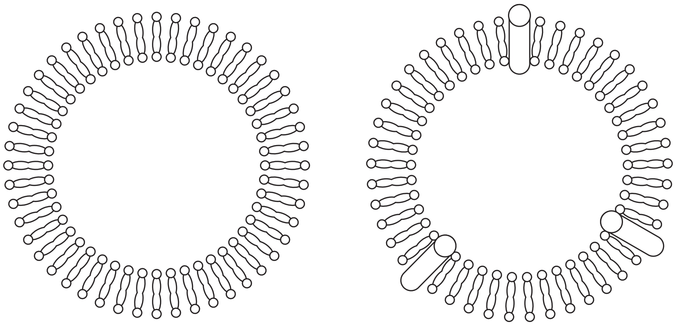
	ナトリウム・カリウムATPアーゼ	ナトリウムチャネル
a	空間Ｐに面した細胞膜だけにある	空間Ｐに面した細胞膜だけにある
b	空間Ｐに面した細胞膜だけにある	空間Ｑに面した細胞膜だけにある
c	空間Ｐに面した細胞膜だけにある	細胞膜全体にある
d	細胞膜全体にある	空間Ｐに面した細胞膜だけにある
e	細胞膜全体にある	空間Ｑに面した細胞膜だけにある
f	細胞膜全体にある	細胞膜全体にある
g	空間Ｑに面した細胞膜だけにある	空間Ｐに面した細胞膜だけにある
h	空間Ｑに面した細胞膜だけにある	空間Ｑに面した細胞膜だけにある
i	空間Ｑに面した細胞膜だけにある	細胞膜全体にある

【2】 血液中のグルコースは血糖と呼ばれ，[ア]になるように調節されている。食事摂取後，腸管から吸収されたグルコースは全身の器官に取り込まれ利用されるが，必要以上のグルコースはすい臓から分泌されるインスリンの働きにより肝臓や骨格筋でグリコーゲンとして貯蔵され，脂肪組織で中性脂肪として貯蔵される。一方，血糖値が低下してくると，すい臓から分泌されるグルカゴンの働きにより，肝臓で蓄えられたグリコーゲンが分解されグルコースに変換されて血中へ放出される。神経細胞は活動エネルギー源として主にグルコースを利用しているので，この仕組みがうまく働かず低血糖が生じると痙攣(けいれん)が起きたりする。

このグルコースの細胞内外への移動には，細胞膜を貫通しているGLUTと呼ばれる輸送体タンパク質が働いている。3種類のGLUTタンパク質が存在し，GLUTタンパク質ごとに輸送速度や細胞内局在の性質が決まっている。また，細胞ごとに発現しているGLUTタンパク質の種類が決まっている。インスリンの働きとGLUTタンパク質の関係を調べるために以下の実験を行った。

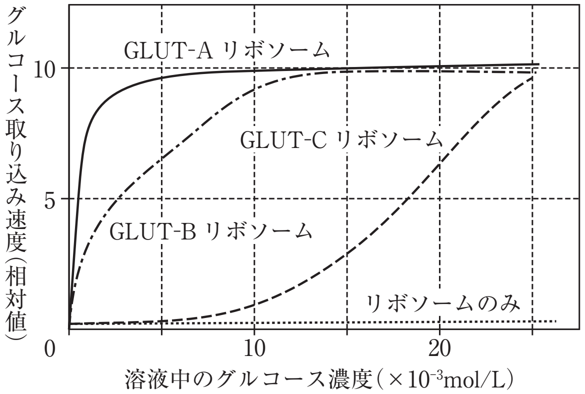
実験1：

3種類のGLUT－A，－B，－Cを別々に球状の人工リン脂質膜(リポソーム)に組み込んだ。イメージを図1に示す。それぞれのGLUTを組み込んだリポソームと，組み込んでいないリポソームを様々な濃度のグルコース溶液に入れ，リポソーム内へのグルコース取り込み速度を測定し，図2の結果を得た。ただし，GLUTタンパク質はリポソームに等量存在し，グルコース添加前のリポソーム内グルコース濃度は0とする。さらに，この条件下で濃度が1×10^{-8}mol/Lになるようにインスリンを加えて，30分後のリポソーム内へのグルコース取り込み速度を測定したが，インスリン非存在下の場合と比較してまったく変化は認められなかった。



球状の人工リン脂質膜(リポソーム)(左)とGLUTタンパク質を組み込んだリポソーム(右)のイメージ

図1

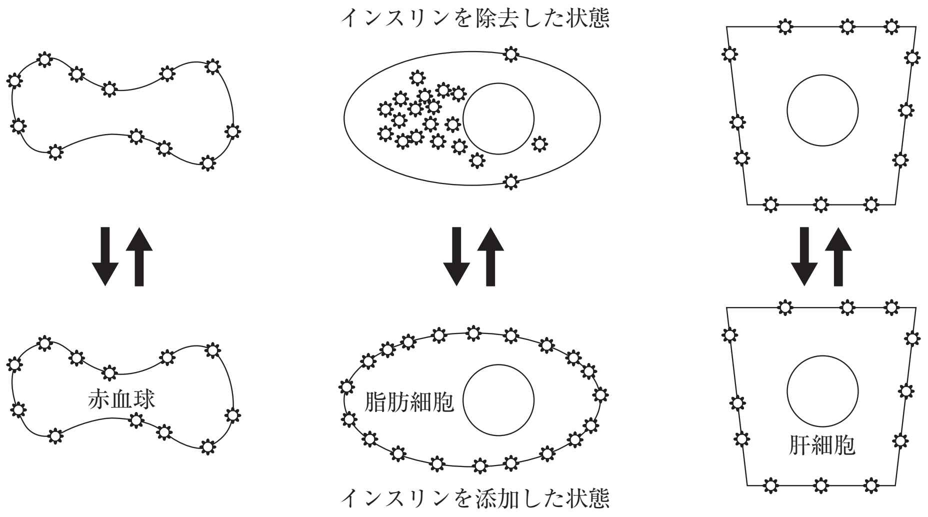


リボソームへのグルコース取り込み速度

図２

実験２：

赤血球，脂肪細胞および肝細胞を1×10^{-2}mol/Lのグルコース濃度の溶液に入れ，濃度が1×10^{-8}mol/Lになるようにインスリンを添加して30分後と，そののちインスリンを除去して30分後に，GLUTタンパク質の細胞内局在を蛍光抗体法（組織切片に蛍光色素で標識した抗体を反応させ抗原の分布を蛍光顕微鏡で観察する方法）で観察し，図３の結果を得た。図中の✿は蛍光発色が見られた部位を示す。

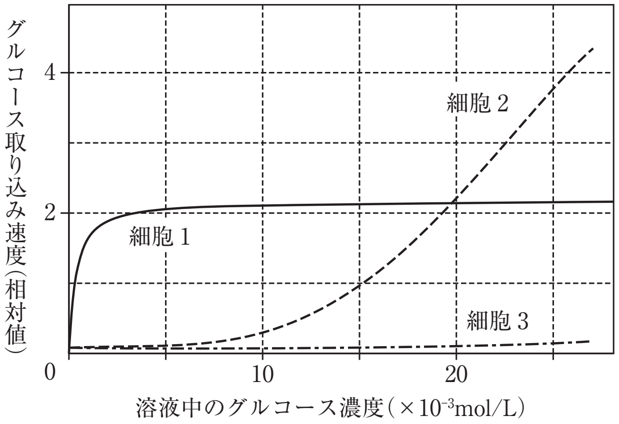


インスリンの有無によるGLUTの細胞内の局在の変化

図３

実験３：

赤血球，脂肪細胞および肝細胞を様々な濃度のグルコース溶液に入れ，細胞内へのグルコースの取り込み速度を測定した。結果を図4に示す。ただし，この実験ではグルコース添加前の細胞内グルコース濃度は0とする。

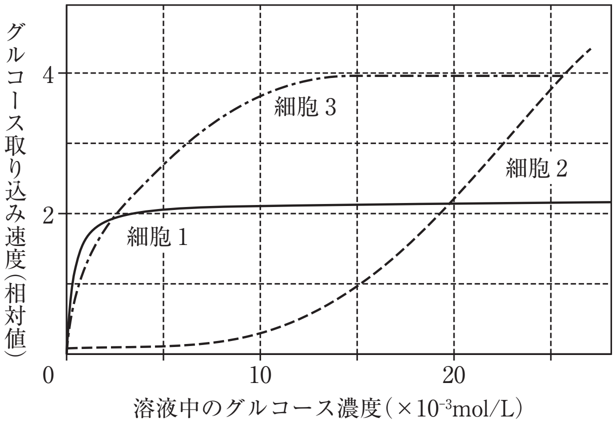


インスリン非存在下での細胞へのグルコース取り込み速度

図 4

実験4：

さらに実験３の条件下で，濃度が1×10^{-8}mol/Lになるようにインスリンを加えて，30分後の細胞内へのグルコース取り込み速度を測定した。結果を図５に示す。



インスリン存在下での細胞へのグルコース取り込み速度

図 5

問１　文中の［ア］に適当な数値はどれか。

a．1g/mL　　b．5mg/mL　　c．50mg/dL
d．100mg/dL　　e．100mg/L　　f．500mg/L

問２　実験３および４で，脂肪細胞はどれか。また，脂肪細胞に発現しているGLUTはどのタイプと考えられるか。合わせて2つ選べ。

a．細　胞１　　b．細　胞２　　c．細　胞３
d．GLUT－A　　e．GLUT－B　　f．GLUT－C

問３　赤血球は，神経細胞と同様にグルコースのみをエネルギー源として働いている。実験3および4で，赤血球はどれか。また，赤血球に発現しているGLUTはどのタイプと考えられるか。合わせて2つ選べ。

a．細　胞１　　b．細　胞２　　c．細　胞３
d．GLUT－A　　e．GLUT－B　　f．GLUT－C

問４　２時間絶食した健常成人の血糖値を調べたところ［ア］と同じであった。この健常成人にグルコース溶液を経口投与したところ，30分後には［ア］の２倍の値を示した。このときの肝細胞へのグルコース取り込み速度を，実験３および実験４に基づくと仮定して図から相対値で求めると，もっとも近い値はどれか。ただし，原子量は，H＝1，C＝12，O＝16とする。

a．0.1　　b．0.2　　c．0.4　　d．0.8
e．1　　f．2　　g．4　　h．8

問５　すい臓のインスリン分泌細胞では，血糖値が高くなるとインスリン分泌が増加する。つまり，この細胞では血糖値の上昇を察知するセンサーが必要である。インスリン分泌細胞に発現しているGLUTのタイプはどれか。また,その理由はどれか。合わせて3つ選べ。

ａ．GLUT－A　　ｂ．GLUT－B　　ｃ．GLUT－C
ｄ．血糖値が低くても十分にグルコースを取り込める。
ｅ．血糖値が低下すると取り込み速度が低下する。
ｆ．血糖値が上昇したときにのみグルコース取り込み量が増加する。
ｇ．インスリンに反応して細胞内局在が変化する。
ｈ．インスリンに反応して取り込み速度が上昇する。
ｉ．グルコース取り込み量はインスリンの有無に影響されない。

第5講　確認テスト

物質Ｅは消化器官から産生されるホルモンで，血糖調節に主要な役割を果たす。物質Ｅが適切にはたらかなくなると，高血糖状態が持続し，糖尿病を引き起こす。血糖の調節には，グルコースを細胞内に取り込むグルコース輸送体の関与が知られている。その中でも，グルコース輸送体ｘとグルコース輸送体ｙが重要と考えられている。これらのグルコース輸送体の血糖調節における役割を調べる目的で，物質Ｅの標的となる細胞（細胞Ｘ）と物質Ｅを産生する細胞（細胞Ｙ）を用いて，つぎの実験１と２を行った。

実験１　細胞Ｘをグルコースを含む培養液で培養し，物質Ｅを添加する前と添加した後で，グルコースの取込み量とグルコース輸送体ｘの細胞内分布を調べ，図1(a)の結果を得た。また，細胞Ｘのもつグルコース輸送体ｘの遺伝子を破壊した細胞Ｘ*を作製し，同様の実験を行い，図1(b)の結果を得た。

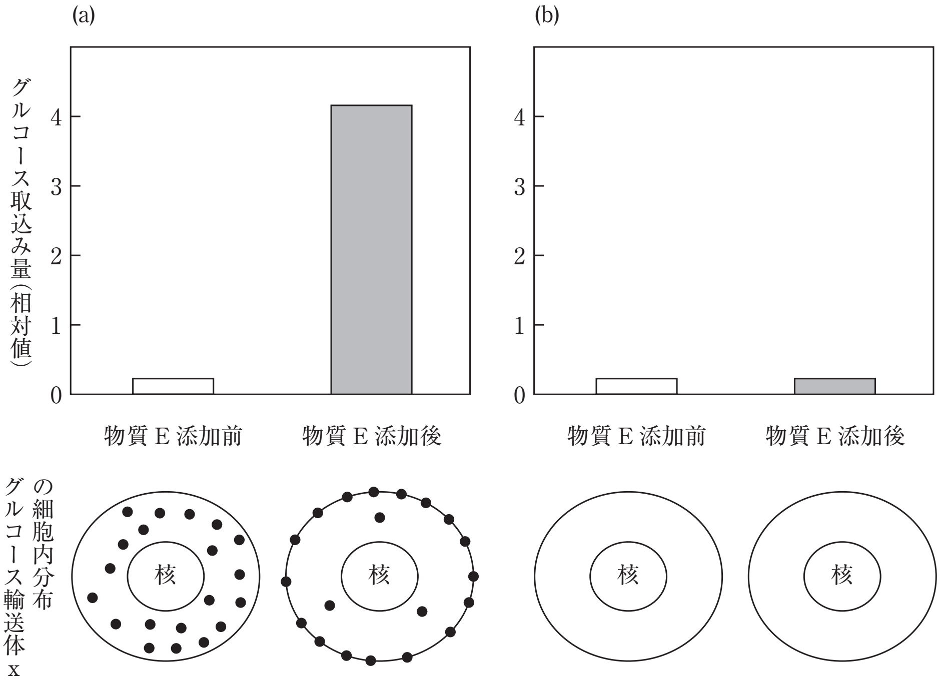


図１　細胞Ｘと細胞Ｘ*におけるグルコース取込み量とグルコース輸送体ｘの細胞内分布

(a)は細胞Ｘ，(b)は細胞Ｘ*を用いた実験の結果を示す。

また，細胞内の黒丸（•）はグルコース輸送体ｘを表す。

実験2　細胞Ｙのもつグルコース輸送体ｙの遺伝子を破壊した細胞Ｙ*を作製した。培養液中のグルコース濃度を変えて細胞Ｙと細胞Ｙ*を培養し，グルコースの取込み量と物質Ｅの産生量を調べ，それぞれ図2(a)と(b)の結果を得た。

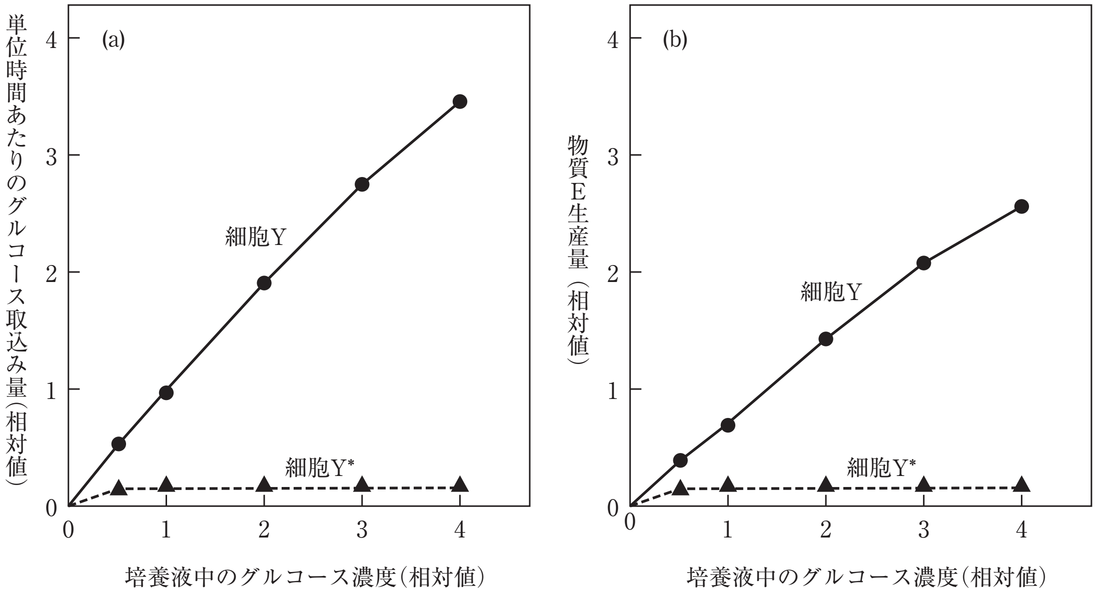


図２　異なるグルコース濃度における，細胞Ｙと細胞Ｙ*のグルコースの取込み量(a)と物質Ｅの産生量(b)

問１　実験１の結果から，物質Ｅはどのようにして細胞Ｘによるグルコースの取込みを調節していると推察されるか。75字以内で記せ。

問２　実験２の結果から，物質Ｅの産生はどのように調節されていると推察されるか。75字以内で記せ。

問３　グルコース輸送体ｘの異常が原因となっている糖尿病の患者Ｘと，グルコース輸送体ｙの異常が原因となっている糖尿病の患者Ｙがいるとする。患者Ｘと患者Ｙの食後の血糖値と物質Ｅの血中濃度の検査結果として最も適切と考えられるグラフを図３の(ア)〜(カ)から選び，選んだ理由を簡潔に記せ。

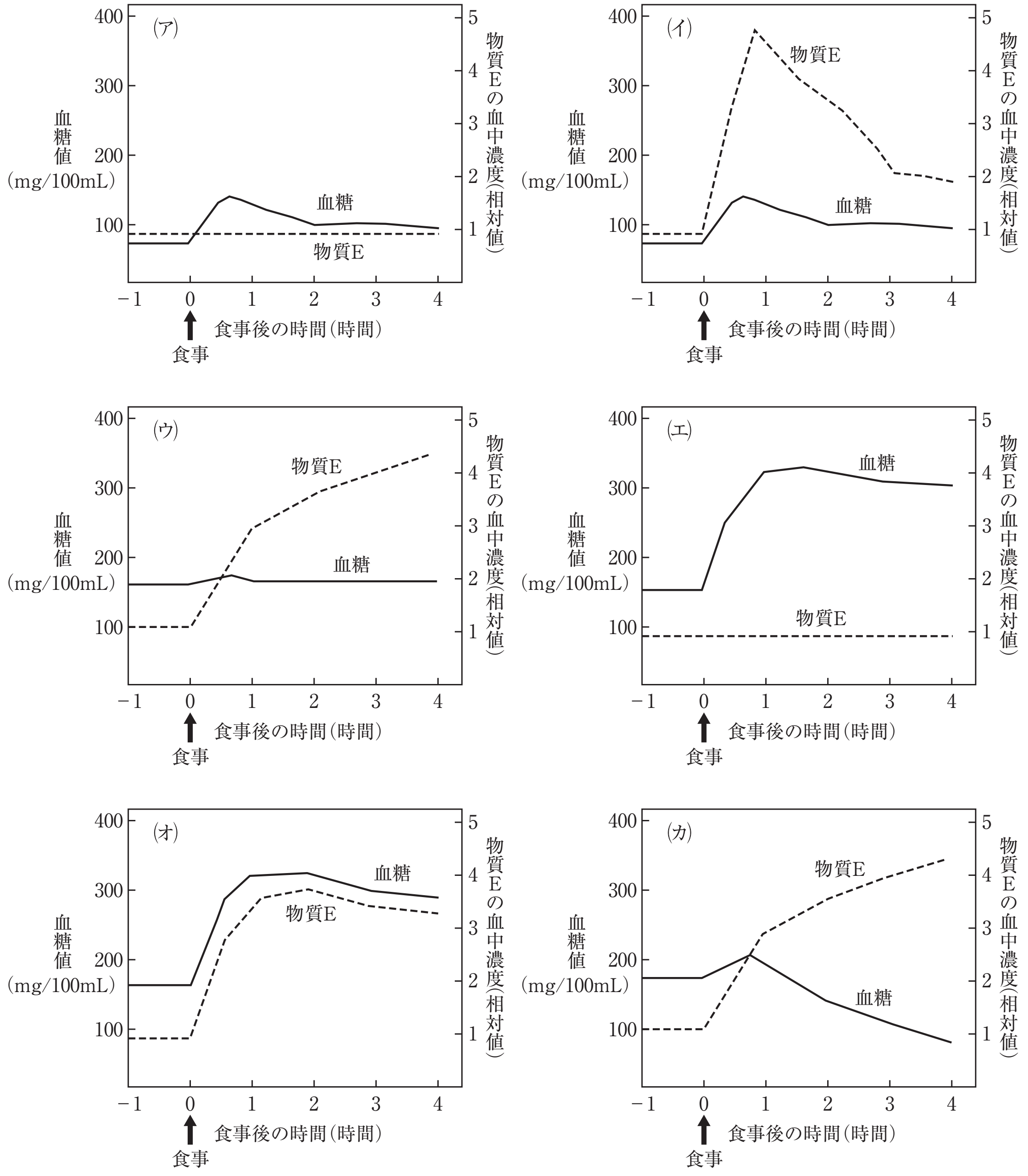


図３　食後の血糖値と物質Ｅの血中濃度の変化

第6講　酵素反応の調節，限定要因

【1】

〔文 1〕

葉の表皮には，気孔と呼ばれる小さな穴が多数存在する。気孔は，葉の内部と外界とを結ぶ気体の通り道として，大きな役割を担っている。環境が変化すると，それに応じて気孔の開きぐあいが変わり，気体の出入りが調節される。

気孔の開閉に関わる環境要因の中でも，とくに重要なものに光がある。一般に気孔は，暗い環境で閉じ，明るい環境で開く。光照射で速やかに誘導される気孔開口は，特定の色素タンパク質による光受容を介する。この色素タンパク質は，(ア)光に依存した種子の発芽に関与する色素タンパク質とは種類が異なり，それを反映して，光応答の特徴も，気孔開口と発芽とで大きく異なる。

水分もまた，気孔の開閉を左右する。水分の変化を気孔開閉に結びつける仲介役を果たすのは，アブシシン酸である。水分が不足すると，それが刺激となって植物体内のアブシシン酸濃度が高まり，このアブシシン酸の作用によって気孔が閉じる。

気孔は構造的には1対の孔辺細胞に挟まれた隙間であり，気孔の開閉は孔辺細胞が変形することによる。(イ)この変形に先立つ孔辺細胞の生理的変化については，ツユクサなどを材料に用いてさまざまな実験が行われ，概略が明らかにされている。近年では，シロイヌナズナの突然変異体を利用した解析も進んでいる。

実験1　ツユクサの葉から表皮を剥(は)ぎ取り，これを細胞壁分解酵素で処理して，孔辺細胞のプロトプラストを得た。このプロトプラストを，その体積に比べてはるかに量の多い，やや高張の培養液に浮かべ，直径が変化しなくなるまで，暗所でしばらく静置した。その後，プロトプラストに光を照射したところ，膨らんで直径が増大した。

実験2　アブシシン酸に応答した気孔閉口が起きない突然変異体(アブシシン酸不応変異体)を探し出す目的で，突然変異を誘発したシロイヌナズナを多数育て，アブシシン酸を投与した。アブシシン酸投与後に，サーモグラフィー(物体の表面温度を測定・画像化する装置)により葉の温度を調べ，その結果に基づいて，アブシシン酸不応変異体の候補株を選抜した。

〔文 2〕

葉の発達と成長にともない，原表皮細胞(未分化で運命の決まっていない表皮系の細胞)の中から，孔辺細胞のもととなる細胞(ここでは便宜的に孔辺前駆細胞と呼ぶ)に分化するものが現れ，この孔辺前駆細胞から最終的に１対の孔辺細胞が形成されて，気孔ができあがる。こうした孔辺前駆細胞および孔辺細胞の分化過程の制御により，気孔の分布パターンと密度は適正に調節されている。

シロイヌナズナでは，気孔の密度が増大した突然変異体がいくつか知られている。そのうちの変異体xでは，孔辺前駆細胞で発現し細胞外へ分泌されるタンパク質Xがつくられなくなっている。また別の変異体yでは，原表皮細胞で発現する細胞膜タンパク質Yがつくられなくなっている。さらにYがXと特異的に結合し得ることもわかっている。これらの結果は，(ウ)XとYが一緒にはたらいて気孔の形成を制御していることを示している。

突然変異など何らかの原因で気孔の密度が大きく変化すると，植物にさまざまな影響が現れる。なかでも植物の成長にとって重要なのは，光合成が受ける影響である。(エ)光合成速度は環境条件に依存するが，(オ)特定の環境下では気孔の密度の影響をとくに強く受ける。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ア)について。レタスなどの光発芽種子の発芽に見られる光応答の特徴を，光の波長(色)との関係から35字程度で説明せよ。

B　下線部(イ)について。次の文章は，実験1の結果からの考察を述べたものである。空欄1～3に適切な語句を入れよ。

考察：光照射により孔辺細胞のプロトプラストが膨らんだのは，水が流入したことを示している。一般に植物細胞への水の流入が起きるのは，［　1　］と細胞外の［　2　］の和より細胞内の［　2　］が［　3　］なったときである。この実験の場合，細胞外の［　2　］は一定とみなせ，細胞壁がないプロトプラストでは［　1　］が無視できるので，水の流入の原因は細胞内の［　2　］が［　3　］なることであると考えられる。

C　実験２について。アブシシン酸不応変異体を見つけるには，野生型と比べて葉の温度がどうなっている個体を選び出したらよいか，答えよ。また，その理由を70字程度で述べよ。

D　実験２で単離されたアブシシン酸不応変異体が，気孔閉口だけでなく，全てのアブシシン酸応答を示さないとしたら，どのような表現型が考えられるか。気孔閉口の異常とは直接の関係がない表現型を1つ答えよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ウ)について，以下の(a)～(c)に答えよ。

(a)　気孔の形成の制御におけるＸとＹの役割はどのようなものと考えられるか。次の(1)～(4)から最も適切なものを選んで答えよ。

(1)　原表皮細胞が孔辺前駆細胞に分化するのを促す。

(2)　原表皮細胞が孔辺前駆細胞に分化するのを妨げる。

(3)　孔辺前駆細胞から孔辺細胞が形成されるのを促す。

(4)　孔辺前駆細胞から孔辺細胞が形成されるのを妨げる。

(b)　Ｙは細胞外のＸの有無を感知して，その信号を細胞内に伝える役割を果たしていると推定される。次の２つの方式(1)と(2)のうち，Ｘ－Ｙの信号伝達の説明として<u>不適切なもの</u>はどちらか，答えよ。また，その理由を70字程度で述べよ。

(1)　Ｘがないとき，Ｙは活性をもたない。Ｘを受け取ると，Ｙは活性化し，細胞内で反応を引き起こす。この反応の開始が，Ｘ感知の信号となる。

(2)　Ｘがないとき，Ｙは活性をもち，細胞内で一定の反応を引き起こしている。Ｘを受け取ると，Ｙは不活性化し，反応が止まる。この反応の停止が，Ｘ感知の信号となる。

(c)　変異体xとyでは，野生型と比べて，気孔の密度だけでなく，分布パターンも変化していた。どのような傾向の変化か。XとYのはたらき方から考え，次の(1)～(6)から最も適切なものを選んで答えよ。なおランダム分布は単純な確率に従ってランダムに分布すること，集中分布は特定の部位に密集して分布すること，均等分布はほぼ等間隔で一様に分布することである(図1－1)。

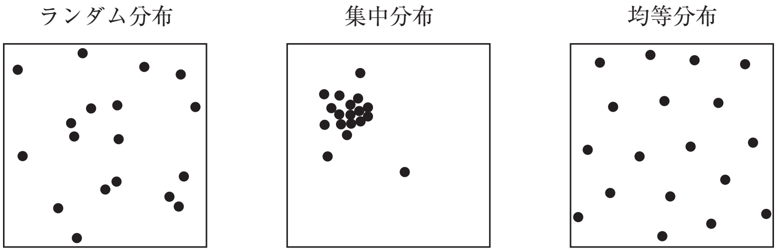


図１－１　分布パターンの模式図(全体の密度が同じになるように描いたもの)

(1)　集中分布に近いパターンから，均等分布に近いパターンへの変化。
(2)　集中分布に近いパターンから，ランダム分布に近いパターンへの変化。
(3)　均等分布に近いパターンから，集中分布に近いパターンへの変化。
(4)　均等分布に近いパターンから，ランダム分布に近いパターンへの変化。
(5)　ランダム分布に近いパターンから，均等分布に近いパターンへの変化。
(6)　ランダム分布に近いパターンから，集中分布に近いパターンへの変化。

B　下線部(エ)について。野生型のシロイヌナズナにおける，見かけの光合成速度（葉面積当たりのCO_2吸収速度，以下では単に光合成速度という）と光強度および外気のCO_2濃度との関係を，葉の温度を一定に保てる装置を用いて，同一の温度条件で調べたところ，図1－2に示すような曲線が得られた。外気のCO_2濃度が0.04％で光強度が①のときと②のときのそれぞれについて，光合成の限定要因が何か，答えよ。

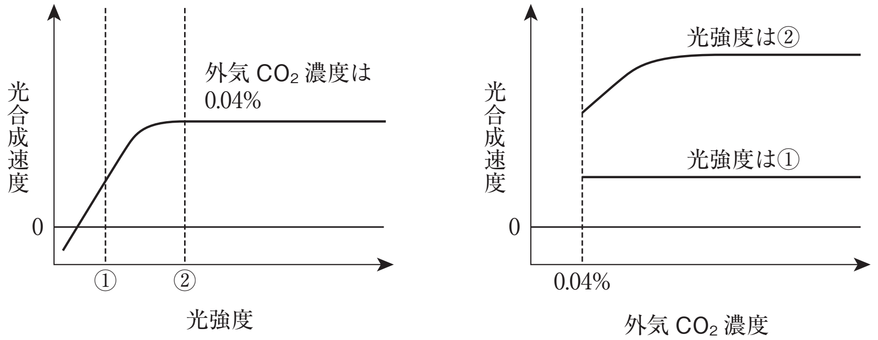


図1－2　野生型における光強度および外気CO_2濃度と光合成速度との関係

C　下線部(オ)について。今ここに気孔の密度が野生型の2倍程度に増大した突然変異体*z*がある。この変異体を用いて，いろいろな光強度のもとで葉の気体透過性（表皮を横切る気体移動の起きやすさを葉面積当たりで示したもの）を測定してみると，図1－3のようにどの光強度でも野生型より高くなっていた。次にこの変異体の光合成速度を，光強度を変えたり外気のCO_2濃度を高くしたりした条件で測定し，野生型と比べようと思う。どのような結果が予想されるか。外気CO_2濃度0.04％のときの光強度－光合成速度のグラフを次の(1)～(6)から，光強度②のときの外気CO_2濃度－光合成速度のグラフを以下の(7)～(12)から，それぞれ最も適切なものを選んで答えよ。なお，測定は，葉の温度を一定に保てる装置を用いて，すべて同一の温度条件で行うものとする。また，各グラフ中の破線の曲線は野生型の光合成速度を示す。

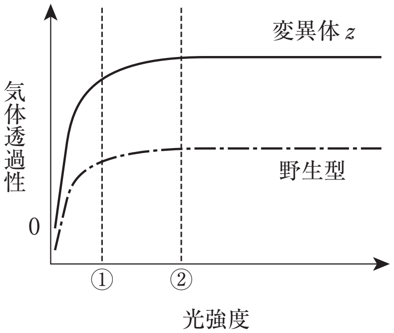
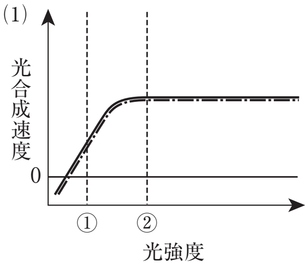
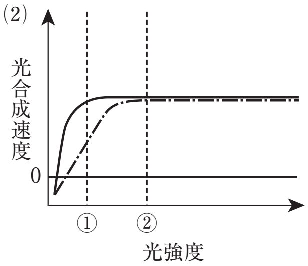
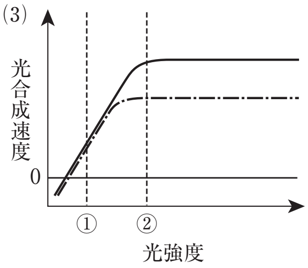
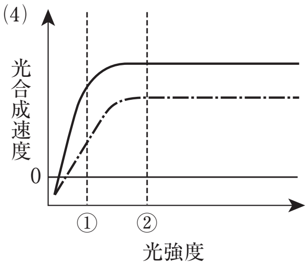


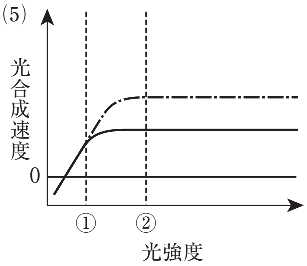
図1－3　外気CO_2濃度が0.04％のときの光強度と気体透過性の関係

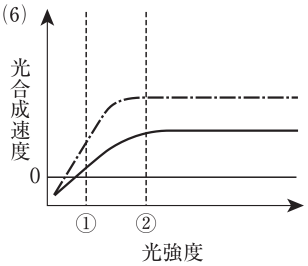

(1)
光合成速度
0
①
②
光強度

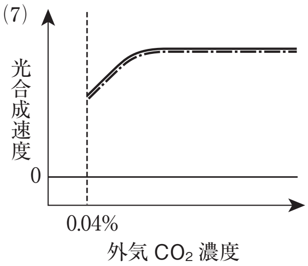

(2)
光合成速度
0
①
②
光強度

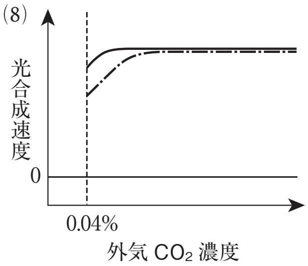

(3)
光合成速度
0
①
②
光強度

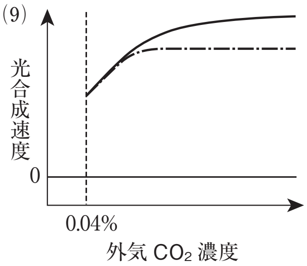

(4)
光合成速度
0
①
②
光強度

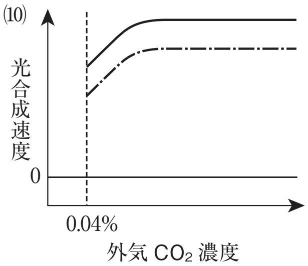

(5)
光合成速度
0
①
②
光強度

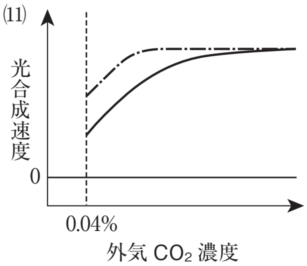

(6)
光合成速度
0
①
②
光強度

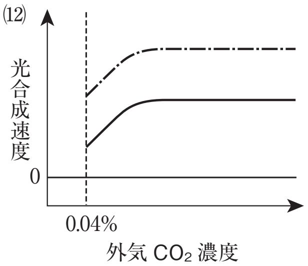

(7)
光合成速度
0
0.04%
外気 CO2 濃度


(8)
光合成速度
0
0.04%
外気 CO2 濃度


(9)
光合成速度
0
0.04%
外気 CO2 濃度


(10)
光合成速度
0
0.04%
外気 CO2 濃度


(11)
光合成速度
0
0.04%
外気 CO2 濃度


(12)
光合成速度
0
0.04%
外気 CO2 濃度

【2】 次の文を読み，下記の設問１～４に答えよ。

酵素Ａは酵母の解糖系の酵素であり，以下の式に示すように基質Ｓをリン酸化してＳ－Ｐを生成する反応を触媒する。

式）Ｓ　＋　ATP　⟶　Ｓ－Ｐ　＋　ADP

酵素Ａには，活性部位とアロステリック部位がそれぞれ1個ずつ存在し，ATPはいずれの部位にも結合することができる。

図１には，精製した酵素Ａを用いて，生成物Ｓ－Ｐの生成速度とATP濃度との関係を調べた結果を実線で，また，ADP存在下における生成物Ｓ－Ｐの生成速度とATP濃度との関係を調べた結果を点線で示した。この時の基質Ｓの濃度は0.8mmol/Lであり，また，ADPは活性部位には結合せずアロステリック部位にのみ結合することが分かっている。

図2には，精製した酵素Ａを用いて，低濃度のATP(0.8mmol/L)と高濃度のATP(2.5mmol/L)の存在下における生成物Ｓ－Ｐの生成速度と基質Ｓの濃度との関係を示した。図2には示していないが，高濃度のATP(2.5mmol/L)存在下での生成物Ｓ－Ｐの最大生成速度は，低濃度のATP(0.8mmol/L)存在下でのそれと同じである。

なお，図1と図2の実験で用いた酵素Ａの濃度は，基質S，ATPやADPの濃度に比べて極めて低い。

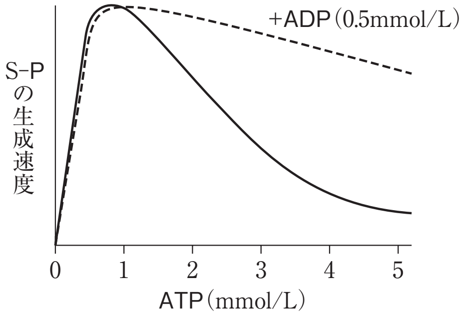


図１

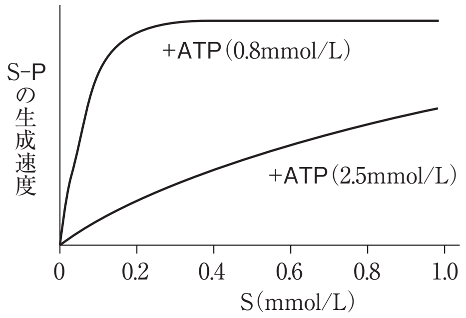


図２

1．図１と図２の結果をもとに，この酵素反応の説明としてもっとも適当なものはどれか。次のa～eから１つ選べ。

a. アロステリック部位に結合したATPは，基質Sが活性部位に結合するのを阻害しない。

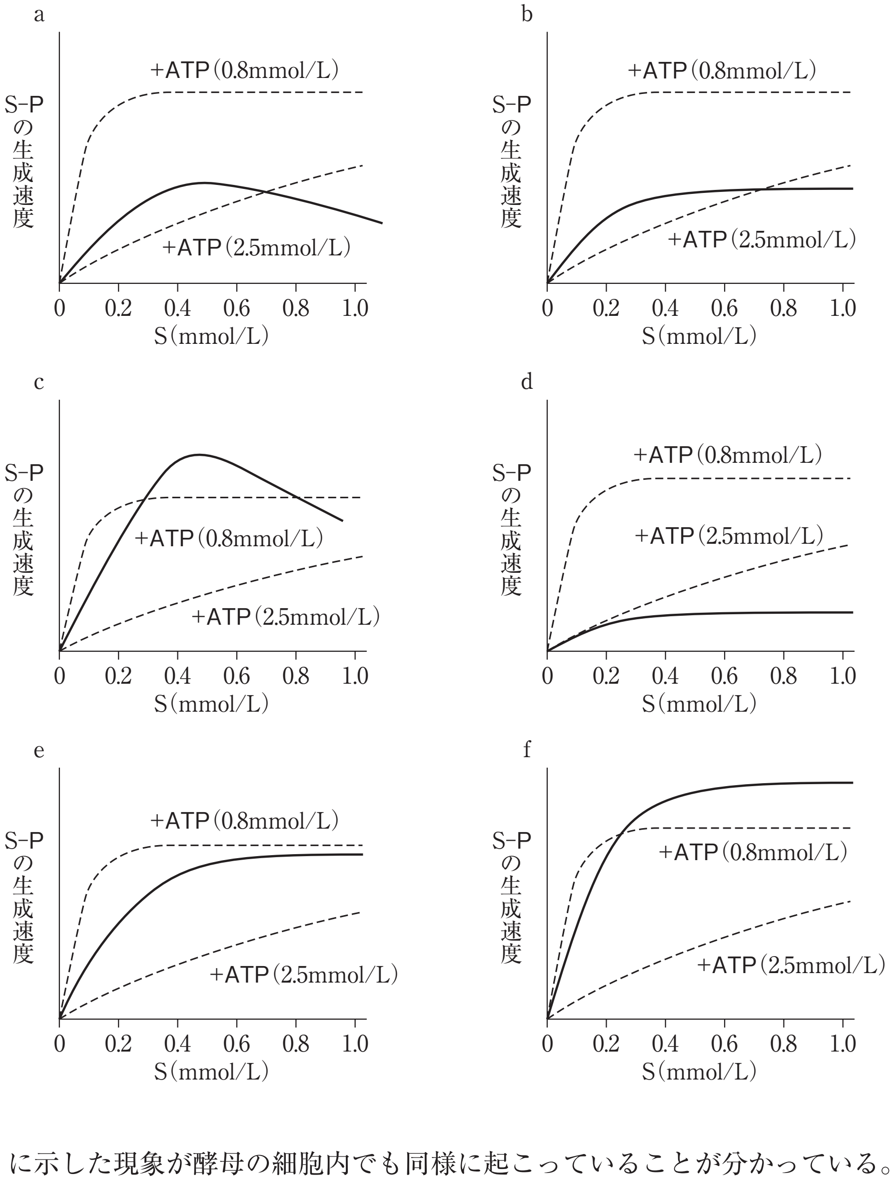
b. ADPがアロステリック部位に結合すると，ATPは活性部位に結合しにくくなる。

c. 濃度が1mmol/Lを超えるとATPはアロステリック部位に結合し，基質Ｓが活性部位に結合するのを阻害するので，生成物Ｓ－Ｐの生成速度が抑制される。

d. ADPがアロステリック部位に結合すると，酵素－基質複合体から生成物Ｓ－Ｐが生じる速度は増加するので，ATPによる抑制は解除される。

e. ADPがアロステリック部位に結合すると，ATPが活性部位に結合しやすくなり，酵素－基質複合体から生成物Ｓ－Ｐの生じる速度は増加する。

2．図１に示したように，高濃度のATPによる阻害作用はADP存在下では抑制される。図1ならびに図2の結果をもとに，酵素反応をATP（2.5mmol/L）とADP（0.5mmol/L）存在下で行ったとき，S－Pの生成速度と基質Sの濃度との関係を示すもっとも適当な図を，次のa～fから１つ選べ。なお，図a～fには図２の結果を点線で示してある。



3．図１に示した現象が酵母の細胞内でも同様に起こっていることが分かっている。ATPによる酵素Aの阻害は酵母にとってどのような生物学的意味があるのか，40字以内で答えよ。

4．酵母は呼吸とアルコール発酵を行う。酵母の培養液に，呼吸基質であるグルコースを加えると，グルコースが0.2モル消費され，その呼吸商は1.5であった。このとき，アルコール発酵で消費されたグルコースの量［モル］を求めよ。

第６講　確認テスト

酵母菌の呼吸に関する次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

酵母菌は，環境条件の違いによって，①異化の方法を変えることができる。酵母菌の好気的な呼吸は細胞質基質とミトコンドリアで行われる。グルコースが低濃度で含まれる培養液において酵母菌に酸素を与えて培養すると，ミトコンドリアが発達する。呼吸では，グルコースは細胞質基質で(　ア　)まで代謝されて，ミトコンドリアへ輸送される。(　ア　)は，さらに代謝されて最終的に(　イ　)と(　ウ　)に分解されるが，(　イ　)はクエン酸回路で，(　ウ　)は電子伝達系で生成される。一方，②グルコースが高濃度で含まれる培養液において酸素を与えずに酵母菌を培養すると，ミトコンドリアは呼吸のときほど発達せず，エタノールが生成される。したがって，酵母菌はミトコンドリアが発達していなくても生育が可能である。

問１　文章中の空欄(　ア　)～(　ウ　)に入る適切な語句を答えよ。

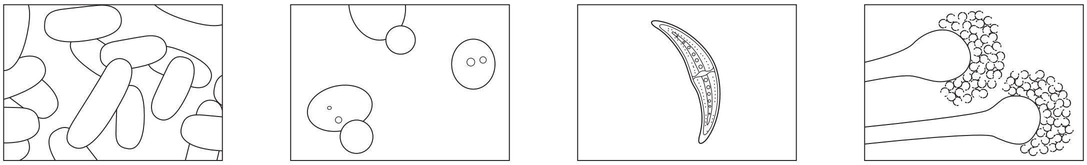
問２　蒸留水中ではヒトの赤血球は破裂するが，酵母菌は破裂しない。酵母菌が破裂しない理由を答えよ。

問３　下線部①に関して，呼吸や発酵の結果，エネルギーに直接利用できるATPが合成される。ヒトの筋肉が急に収縮するとき，ATPは呼吸や解糖以外の方法によっても合成される。呼吸や解糖によらないでATPが合成されるしくみを答えよ。

問４　下線部②に関して，(1)～(3)の問いに答えよ。

(1)　グルコースを呼吸基質とした場合，エタノールが生成される反応の名称を答えよ。

(2)　日本酒に含まれるエタノールは酵母菌がつくりだしたものである。日本酒の製造には，酵母菌の他に，乳酸菌とコウジカビも利用されている。次の顕微鏡で見たA～Dから，酵母菌，乳酸菌およびコウジカビの写真をそれぞれ選び，その記号を答えよ。



A　　B　　C　　D

(3)　エタノールが生成される過程で，グルコースは分解されて炭素数3のC_3物質が２分子できる。そのC_3物質は脱水素酵素により酸化されて別のC_3物質になり，このとき酸化型補酵素Ｘが還元される。酸化型補酵素Ｘはグルコースに比べて細胞に少量しか含まれていない。この脱水素酵素の反応が進むにつれ，酸化型補酵素Ｘの量が減り続けると予想されるが，実際には細胞内の酸化型補酵素Ｘは供給されるので枯渇せず，酵母菌は脱水素酵素の酸化反応を続けることができる。酸化型補酵素Ｘが供給されるしくみを答えよ。

問５　ミトコンドリアと葉緑体は，よく似た特徴を持つ細胞小器官である。呼吸を行っている細胞のミトコンドリアや光合成を行っている細胞の葉緑体では，特定の部位に水素イオンが蓄積する。それぞれの細胞小器官における水素イオンの蓄積部位を答えよ。

問６　原核生物である細菌にもO_2を用いた呼吸を行うものがある。呼吸の代謝はクエン酸回路と電子伝達系からなる。真核生物の進化の観点から，細菌の電子伝達系が細胞のどこにあるかを推測し，その場所を答えよ。また，そのように考えた理由を説明せよ。

第７講　遺伝子①

【1】　動物のからだは様々な種類の細胞から作られる。細胞種が異なっていても，保持するゲノムは基本的には同一であるため，それぞれの細胞は遺伝子の発現調節をおこなうことで，必要な形質を獲得している。核内の遺伝子の近傍には［ 1 ］とよばれる転写調節領域があり，RNAポリメラーゼやそのはたらきを助ける［ 2 ］とよばれるタンパク質が結合する。また，遺伝子の上流や下流の離れた場所にも転写調節領域があり，アクチベーター(活性化因子)やリプレッサーなどの調節タンパク質が結合することで，遺伝子発現の量や時期，場所などを調節する。細胞の種類が異なれば，存在する調節タンパク質の種類も異なるため，遺伝子の発現状態は，転写調節領域の種類と，そこに結合する調節タンパク質の組み合わせの違いにより決まる。また，核内ではDNAが［ 3 ］に巻きつくことで［ 4 ］を形成し，さらに［ 4 ］が重なることでクロマチン繊維構造をとるが，この構造がゆるんだり，あるいは密に折りたたまれることによっても，遺伝子の転写の起こりやすさが変化する。

遺伝子組換え技術を利用して，外来遺伝子を組み込んだ動物をトランスジェニック動物とよび，遺伝子の転写調節研究にも利用される。ヒト遺伝子の研究には，転写調節タンパク質の種類やその機能が似ていることなどから，トランスジェニックマウスが用いられることが多い。T博士は，４つのエキソンをもつヒト遺伝子Xの転写調節メカニズムを推察するために，以下の２つの実験をおこなった。

［実験1］　遺伝子Xを含む，５つの異なる長さのヒトゲノムDNA断片(図1，断片Ⅰ～Ⅴ)を準備し，それぞれを，微細ガラス針で(a)<u>受精直後のマウス受精卵の核に注入</u>したのち，胚を代理母にもどして発生を続けさせた(図2)。代理母から産まれた子マウスの尾からDNAを抽出し，［ 5 ］法により調べた結果，一部の個体でヒト遺伝子Xがマウスのゲノム DNAに挿入されていることがわかった。さらに，その子孫にも外来遺伝子が受け継がれることを確認した。

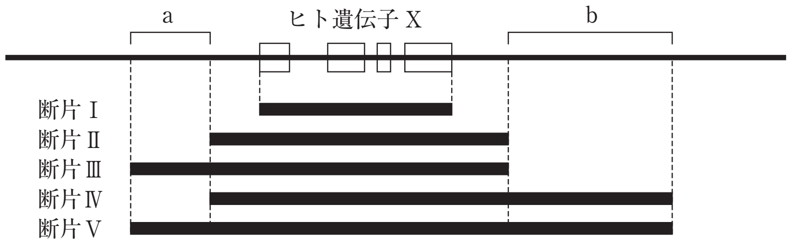


図１　ヒト遺伝子Xの構造と外来遺伝子として用いたDNA断片の範囲
(aとbは転写調節領域，白い四角はエキソンを表す)

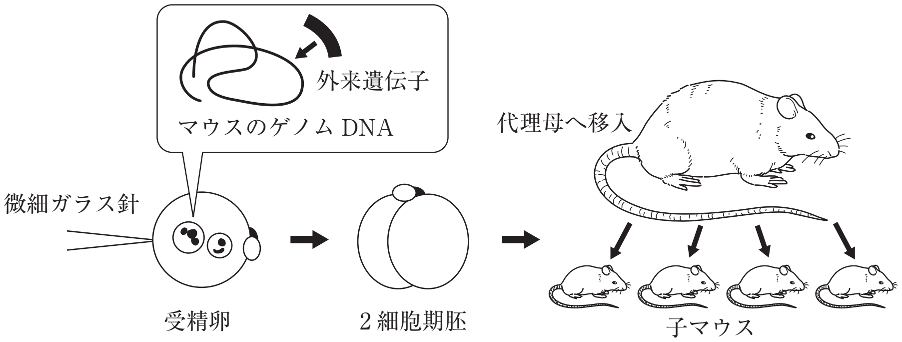


図2　トランスジェニックマウスの作製

［実験2］　5種類のDNA断片(図1，断片Ⅰ～Ⅴ)を，それぞれ完全な長さで保持するトランスジェニックマウス(トランスジェニックマウスⅠ～Ⅴ)について，組織Aと組織Bからm RNA(伝令RNA)を抽出し，ヒト遺伝子Xの発現量を調べた。その結果の一部を表1に示す。

表1　トランスジェニックマウス組織でのヒト遺伝子Xの発現

トランスジェニックマウス	組織A	組織B
Ⅰ	−	−
Ⅱ	＋	＋
Ⅲ	＋	−
Ⅳ	＋＋	＋

−：遺伝子が発現していない。
＋：遺伝子が発現している。
＋＋：＋と比べ，遺伝子の発現量が多い。
ただし，外来遺伝子が挿入されたマウスゲノムDNAの場所にかかわらず，同じDNA断片をもつトランスジェニックマウスからは，常に同じ結果が得られるものとする。

問1　空欄［1］～［4］に当てはまる最も適切な語を記せ。

問2　空欄［5］に当てはまる，耐熱性DNAポリメラーゼを用いて，特定の塩基配列をもつDNA領域を増幅する技術の名称を記せ。

問３　下記の文章の空欄［　6　］～［　9　］に当てはまる最も適切な語を，次のア～オから選び，記号で記せ。

Ｔ博士は，表１のトランスジェニックマウスⅠ～Ⅳの結果から，「ヒト遺伝子Ｘ(図１)の転写調節領域ａには，組織［　6　］ではたらく［　7　］が結合し，調節領域ｂには，組織［　8　］ではたらく［　9　］が結合する」と考え，トランスジェニックマウスⅤの結果を，組織Ａでは「＋＋」，組織Ｂでは「－」と予想した。

ア．Ａ　　イ．Ｂ　　ウ．ＡとＢの両方
エ．アクチベーター　　オ．リプレッサー

問４　実験１の下線部(a)関連して，受精卵が細胞分裂した後に，一部の細胞でのみ外来遺伝子がゲノムDNAに挿入されたときには，外来遺伝子が全く子孫に受け継がれない可能性がある。どのような場合か，40字以内で記せ。

問５　表１の結果について，実際には，同じDNA断片を用いたとしても，外来遺伝子がマウスゲノムDNAの異なる場所に挿入された場合には，それらの転写が異なる影響を受ける場合がある。この理由を，本文を参考にして60字以内で記せ。

【2】 次の文章を読み，問1〜問6に答えよ。

細胞には，ゲノムDNAが外的あるいは内的要因によって損傷を受けた場合，そうした傷を修復する仕組みがある。例えば，太陽光に含まれる紫外線によってゲノムDNAが損傷することが知られている。紫外線によるDNA損傷は，多種類の酵素が働くことによって正確に修復される。ここで，遺伝学の研究に多用される出芽酵母を用いて，DNA損傷の修復にかかわる遺伝子を単離して解析する実験について考えてみる。出芽酵母は単細胞真核生物であり，一倍体(核相n)，二倍体(核相$2n$)いずれの状態でも増殖することができる。また，異なる性の一倍体細胞が接合する有性生殖を行うことがある。

実験１：一倍体の酵母細胞を変異原性の化学物質で処理して人為的に遺伝子の突然変異を誘発した。これらの変異細胞の中から，紫外線照射によって細胞増殖ができずに死んでしまう2つの変異株(X，Y株)を得た。

問１　変異株を得るときに一倍体細胞を使用した理由を100字以内で記せ。

実験２：X，Y株の原因遺伝子(変異原性の化学物質処理により変異が起こった遺伝子)を同定する目的で次の実験を行った。まず，野生株の出芽酵母ゲノムDNAを平均長数千ヌクレオチドに断片化し，プラスミドに組み込んだ。こうしてできたプラスミドの集まりをゲノムライブラリーという。このライブラリープラスミドをX株に導入して，紫外線を照射したのち寒天培地上で培養した。この時，導入されたプラスミドは１細胞あたり１種類であり，導入後は細胞内で安定に保持され，紫外線照射によって細胞には新たな変異は起きないものとする。

その結果，寒天培地上で３つのコロニーが形成された。この３つのコロニーからプラスミドDNAを回収し，塩基配列を解析した。その結果，図１に示すようにプラスミドの挿入DNA断片上にいくつかの遺伝子が見つかった。斜線部分は遺伝子を示す。

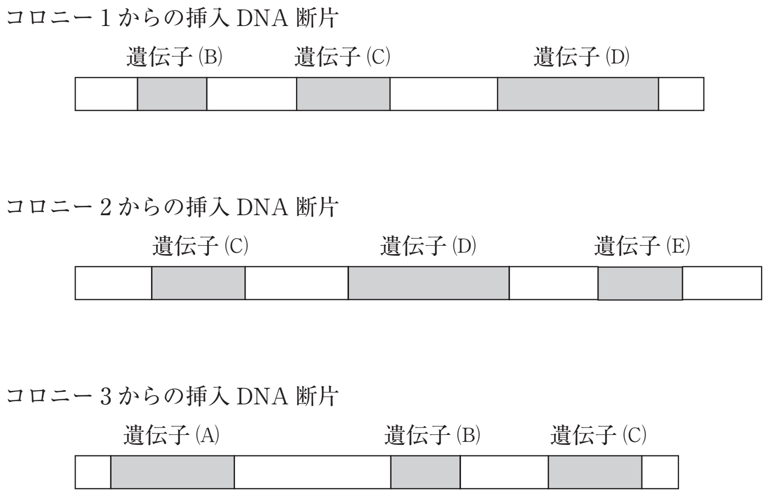


図１

問２　図１の遺伝子(A)～(E)のうち，X株の原因遺伝子の候補として最も可能性が高いものを１つ選べ。

実験3：Y株については実験2の方法ではコロニーが生じなかったため，2つ以上の遺伝子に変異があり，いずれの遺伝子が変異しても紫外線抵抗性を失うと解釈した。そこで，図2の上段に示すように，Y株の細胞と野生型の細胞を有性的に接合させ二倍体細胞を作製し，これらを飢餓状態にして減数分裂を誘導した。なお，出芽酵母は動物や植物と同様の減数分裂を行い，二倍体細胞に由来する胞子嚢(のう)の中に4つの一倍体細胞(ア～エ)を作る。

胞子嚢に含まれる4つの一倍体細胞を1つずつ培養し，コロニーを形成させた。それぞれのコロニーの一部を新しい寒天培地に植え継ぎ，紫外線を照射して培養した。紫外線抵抗性を示す細胞は増殖し，紫外線抵抗性を示さない細胞は増殖できない。図2の下段には6つの胞子嚢(1～6)を用いた結果を模式的に示しているが，実際は多数の胞子嚢を用いた。

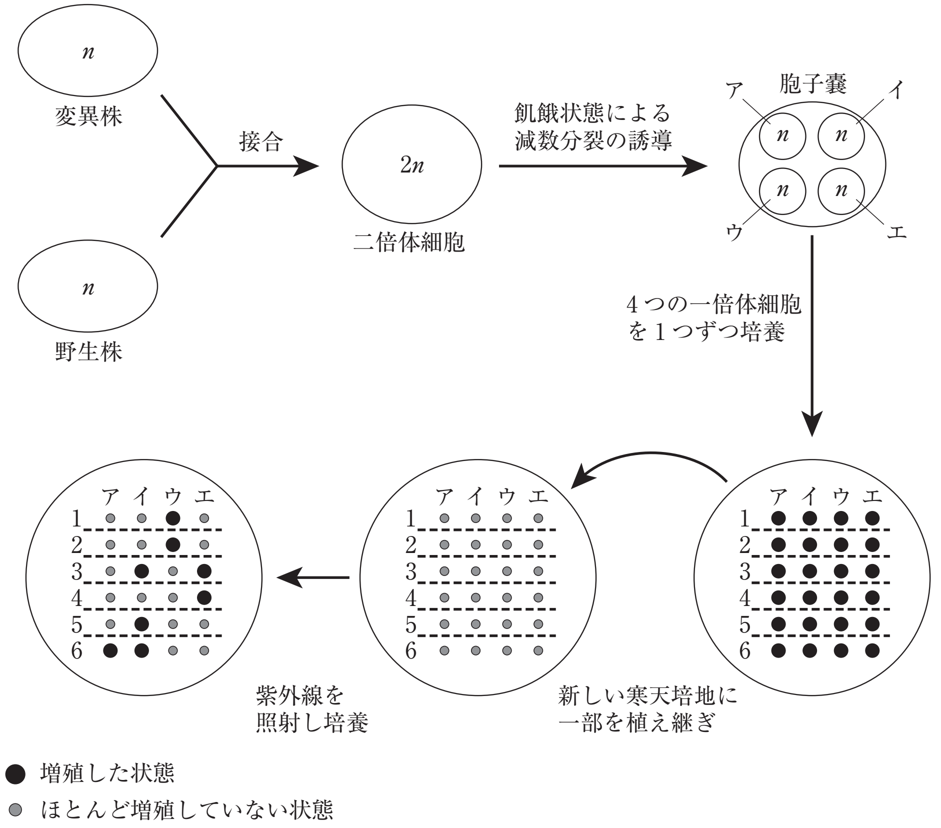


図2

問3　実験3と同様な操作をX株の細胞を用いて行った。1つの胞子嚢の中の4つの一倍体細胞において，(紫外線抵抗性を示す細胞数)：(紫外線抵抗性を示さない細胞数)の分離比はどのようになるか。次の(あ)～(お)の中から1つ選べ。

(あ)　0：4　　(い)　1：3　　(う)　2：2　　(え)　3：1　　(お)　4：0

問４　Ｙ株の細胞を用いて実験３を行った。２つの原因遺伝子が異なる染色体に存在し，減数分裂の際に原因遺伝子を含む染色体領域がいずれも相同染色体と乗換えないとする。このとき４つの一倍体細胞において，（紫外線抵抗性を示す細胞数）：（紫外線抵抗性を示さない細胞数）の分離比は胞子嚢によって異なる。多数の胞子嚢で分離比を調べると，各分離比の出現割合［％］はどのようになるか。(あ)〜(お)のそれぞれについて数字で記せ。

分離比	0：4	1：3	2：2	3：1	4：0
出現割合（％）	(あ)	(い)	(う)	(え)	(お)

問５　Ｙ株の細胞を用いて実験３を行った。２つの原因遺伝子が異なる染色体に存在し，減数分裂の際に相同染色体間の乗換えが起こる場合，（紫外線抵抗性を示す細胞数）：（紫外線抵抗性を示さない細胞数）の分離比の出現割合は問4の場合と異なる。出現割合が増加する分離比を，次の(あ)〜(お)の中から１つ選べ。

(あ)　0：4　　(い)　1：3　　(う)　2：2　　(え)　3：1　　(お)　4：0

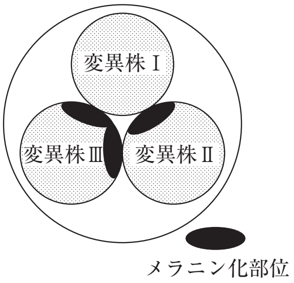
問６　Ｙ株の２つの原因遺伝子が異なる染色体に存在していると仮定する。実験２と実験３の手法を組み合わせて原因遺伝子の候補を絞り込みたい。その方法を120字以内で記せ。

第７講　確認テスト

次の文章を読み，問１～6 に答えよ。

ある種のカビは培地で培養すると菌糸がメラニンという黒褐色の色素を合成する。この菌に突然変異を誘発させ，正常なメラニン色素を作れない３種類の変異株を分離した。得られた変異株はメラニン合成経路における代謝欠損点が異なると考えられ，培地中にメラニン前駆物質を分泌し，その物質の色に特徴的な3つの形質に分類された。変異株Ⅰは前駆物質Ａを分泌することにより薄茶色を呈し，変異株Ⅱは前駆物質Ｂを分泌することにより赤色を呈し，変異株Ⅲは前駆物質Ｃを分泌することにより黄色を呈した。

実験１　メラニン合成代謝経路を調べるために次の実験を行った。３種の菌を培地上で各菌が接するようにして培養したところ，図のように接触した菌糸部分にメラニン化の復帰が認められた。これは分泌されたメラニン前駆体が培地内に拡散し，それを摂りこんだ菌が代謝した結果によるものと考えられた。



代謝経路	(1)	→	(2)	→	(3)	→	メラニン
酵　素 ……	E1		E2		E3		
遺伝子 ……	G1		G2		G3		
変異株 ……	(4)		(5)		(6)		

問１　人為突然変異を誘発する方法を2つ挙げよ。

問２　実験１の結果からメラニン前駆体の代謝過程を推定し，前の図の(1)，(2)，(3)には対応する前駆物質をＡ，Ｂ，Ｃの記号で答えよ。また，(4)，(5)，(6)には対応する変異株をⅠ，Ⅱ，Ⅲの番号で答えよ。

実験２　この菌はアカパンカビと同様な有性生殖を行い，単相(n)の核をもつ菌糸が融合して複相($2n$)の接合子を形成し，その後，減数分裂と体細胞分裂を繰り返して８つの子のう胞子を形成する。そこで変異株Ⅰと変異株Ⅱおよび変異株Ⅰと変異株Ⅲの交配を行い，得られた子のう胞子を培養して菌糸のメラニン合成の形質を調べた。

問３　Ｇ１遺伝子とＧ３遺伝子は密接に連鎖し，Ｇ２遺伝子はＧ１遺伝子およびＧ３遺伝子と連鎖関係がないことがわかっている。実験2のそれぞれの交配によって期待される交配後代の形質の分離比を下記の⑴～⒀から選び，番号で答えよ。ただし，Ｇ１遺伝子とＧ３遺伝子間の組換え価は０とする。

⑴　黒褐色：黄色：赤色：薄茶色＝１：１：１：１
⑵　黒褐色：赤色：薄茶色＝１：２：１
⑶　黒褐色：赤色：薄茶色＝１：１：２
⑷　黒褐色：赤色：薄茶色＝２：１：１
⑸　赤色：薄茶色＝１：１
⑹　赤色：薄茶色＝３：１
⑺　赤色：薄茶色＝１：３
⑻　黄色：薄茶色＝１：１
⑼　黄色：薄茶色＝３：１
⑽　黄色：薄茶色＝１：３
⑾　黒褐色：黄色：薄茶色＝１：２：１
⑿　黒褐色：黄色：薄茶色＝１：１：２
⒀　黒褐色：黄色：薄茶色＝２：１：２

実験３　Ｇ２遺伝子に変異のある変異株を２菌株(変異株Ｇ２－１，変異株Ｇ２－２)分離した。野生型株およびこれらの変異株から酵素Ｅ２のタンパク質を精製し，タンパク質のアミノ酸配列を分析した。アミノ酸配列を比較した結果，野生型株と変異株間で異なる配列が検出された。また，酵素Ｅ２の生成を支配する遺伝子を単離し，塩基の配列を決定した。図は野生型株と変異株Ｇ２－１，変異株Ｇ２－２で配列が異なる部位のＥ２酵素タンパク質のアミノ酸配列，およびこの領域に対応する野生型株の伝令RNAの配列を示している。

1　5　10　15　20　25

5′ -C C U G C A G C U C C A C U U C A A C C A A C G U -3′

伝令 RNA

野生型株	…ロイシン	グルタミン	プロリン	トレオニン…
突然変異株G2−1	…ロイシン	グルタミン	ロイシン	トレオニン…
突然変異株G2−2	…ロイシン	アスパラギン	グルタミン	アルギニン…

E2のアミノ酸配列

ロイシン	CUU　CUC　CUA　CUG　UUA　UUG
グルタミン	CAA　CAG
プロリン	CCU　CCC　CCA　CCG
トレオニン	ACU　ACC　ACA　ACG
アスパラギン	AAU　AAC
アルギニン	CGU　CGC　CGA　CGG　AGA　AGG

伝令RNAの塩基配列からアミノ酸への遺伝暗号表

問４　伝令RNAの塩基1～25に相補的な鋳型DNAの塩基をアルファベット表記で記せ。

問５　野生型株のロイシン，グルタミン，プロリン，トレオニンの領域は伝令RNAの塩基番号の何番から何番の間に指定されているか。

問６　Ｇ２－１，Ｇ２－２の各変異株は鋳型DNAにおいて何番の塩基にどのような変異があったと考えられるか。いずれも１つの塩基の変異によるものとする。

第８講　遺伝子②

【1】

〔文１〕

人類は定住し農耕を始めるようになってから，安定的に食糧を得るため，植物の遺伝的改良を行ってきた。現在，私たちが栽培しているほとんどの農作物は，野生植物から出現した優良個体の長年にわたる選抜と，交配や人為的な変異を用いた遺伝的改良によって作出されたものである。このような，同一種の中で農業上区別できる系統を，ここでは品種という。

イネは日本において盛んに品種改良が行われてきた作物の1つであり，これまで数多くの品種が作出されている。その中でもコシヒカリは，現在日本で最も多く栽培されているイネ品種である。近年，コシヒカリの優良形質を受けついだ新品種がいくつも開発されている。以下はその3つの品種の例である。

品種Ａは，病気に強い品種とコシヒカリとの交配により，病気に強い形質をコシヒカリに付加した品種であり，(ア)<u>戻し交配とDNAマーカー選抜法という手法を組み合せることによって作出された</u>(図１－１)。DNAマーカー選抜法では，できた雑種のDNAの塩基配列を調べることによって，その個体のもつ多数の遺伝子がコシヒカリ由来であるのか，交配相手由来であるのか，またそれらがホモ接合であるのか，ヘテロ接合であるのかを判別することができる。導入したい形質(病気に強い)に関わる遺伝子をもち，それ以外の多くの遺伝子がコシヒカリ由来となった雑種を選抜し，自家受粉を経て，形質が固定されたものを最終的に新品種とする。

品種Ｂは，コシヒカリの突然変異体を選抜することによって得られた品種であり，コメの粘りがコシヒカリより強い。コメの粘りは，胚乳に蓄積する2種類のデンプン分子，アミロースとアミロペクチンの割合によって決まり，アミロースの割合が低いとコメの粘りが強くなる。

品種Ｃは，草丈の低い品種とコシヒカリとの交配により，草丈が低く，倒れにくい形質をコシヒカリに付加した品種であり，品種Ａと同じ方法によって作られた。

これらの3つの品種を用いて，以下の実験1～3を行った。なお，3つの品種はいずれも純系であり，病気に強い，コメの粘りが強い，草丈が低いという形質以外の形質は，コシヒカリと同等である。またそれぞれの形質は1遺伝子によって支配され，独立に遺伝するものとする。

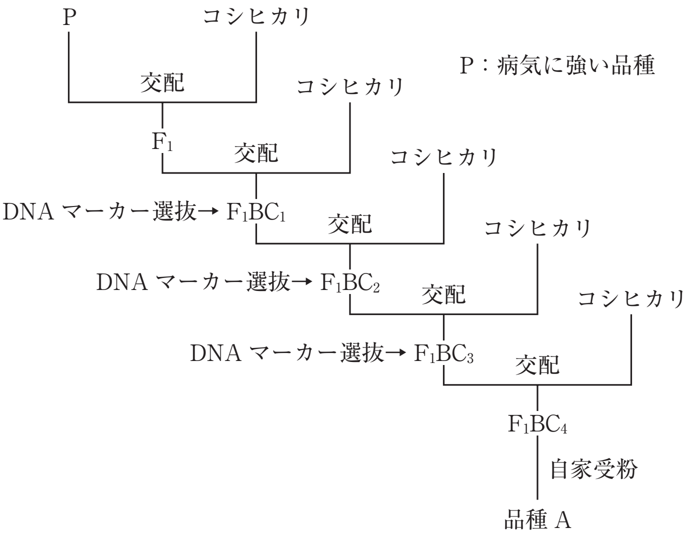


図１－１　戻し交配とDNAマーカー選抜法による品種Aの作出過程。図中のF_1BC_xは，F_1に戻し(backcross)をx回行った個体である。

実験１　品種A，B，Cをそれぞれコシヒカリと交配し，F_1種子を得た。F_1個体を自家受粉させ，雑種第２代(F_2)における表現型の分離比を調べたところ，それぞれの集団には，病気に強い個体，自家受粉すると粘りが強いコメのみをつける個体，草丈が低い個体が25％の割合で出現した。

実験２　品種Bとコシヒカリとの交配を，雄親と雌親をそれぞれ入れ替えて行い，２種類のF1種子を得た。得られた2種類のF_1，コシヒカリ，品種Bの４つについて，種子の胚乳におけるアミロースの割合を調べたところ，コシヒカリが最も高く，コシヒカリ＞コシヒカリを雌親としたF_1＞品種Bを雌親としたF_1＞品種B，の順で低くなった。

実験３　図１－2のような交配により作出した1つの個体Qを自家受粉させ，種子集団Rを得た。この種子集団Rを発芽させ，その後の表現型を調べたところ，病気に強く，自家受粉すると粘りが強いコメのみをつけ，草丈が低いという，品種A，B，Cの性質を兼ね備えた個体が出現した。

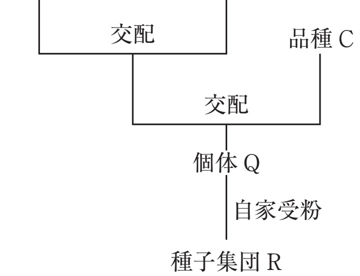


図１－２　種子集団Rの作出過程

〔文 2〕

ある植物に他の生物由来の遺伝子を導入して作られた植物を，トランスジェニック植物という。イネでは，土壌細菌であるアグロバクテリウムを用いた遺伝子導入法がよく用いられている。アグロバクテリウムは，自身のもつTiプラスミドの一部を，植物細胞の核のDNAに組み込む性質をもつ。この性質を用いた方法によって，ある遺伝子をイネに導入するために，以下の実験4を行った。図1－3はこの実験の前半部の概要を示したものである。また，図中で示された(イ)，(ウ)，(エ)は，実験説明文中の下線部(イ)，(ウ)，(エ)の操作に対応している。

実験4　導入したい目的遺伝子を含むDNAを(イ)PCR法によって増幅した。この増幅したDNAに対して，(ウ)酵素反応を行うことによって特定の塩基配列の部位を切断し，目的遺伝子を含むDNA断片を得た。続いて,アグロバクテリウムからTiプラスミドを取り出し,(ウ)酵素反応を行うことによってその一部のDNA配列を取り除き，そこに目的遺伝子を含むDNA断片を(エ)酵素反応によって組み込んだ。次に，この(オ)目的遺伝子をもったプラスミドをアグロバクテリウムに導入し，寒天培地上でアグロバクテリウムを増殖させ，菌体を感染用の溶液に懸濁し，アグロバクテリウム溶液とした。

籾殻(もみがら)を取り外した(カ)イネの種子を殺菌し，(キ)植物ホルモンXを含む寒天培地に置いたところ，(ク)胚の細胞が増殖し，約2週間後に多数のカルスが形成された。それらのカルスを集め，調製したアグロバクテリウム溶液に数分間浸し，水洗した後，培地上で3日間培養することによって，アグロバクテリウムをカルスに感染させた。その後，カルスの表面に増殖したアグロバクテリウムを殺し，(ケ)植物ホルモンXを含む寒天培地で2週間程度培養した。更に培養を続けてもカルスに変化は見られなかったが，カルスを(コ)植物ホルモンXとYを含む寒天培地に移したところ，1週間ほどで(サ)カルスの一部が緑色になり，2週間後にはその周辺から多数の芽が形成された。芽を含む組織を，植物ホルモンを含まない寒天培地上に移植したところ，芽や根が伸長し，植物体へと成長した。この植物のDNAを調べ，目的遺伝子をもったトランスジェニックイネであることを確認した。

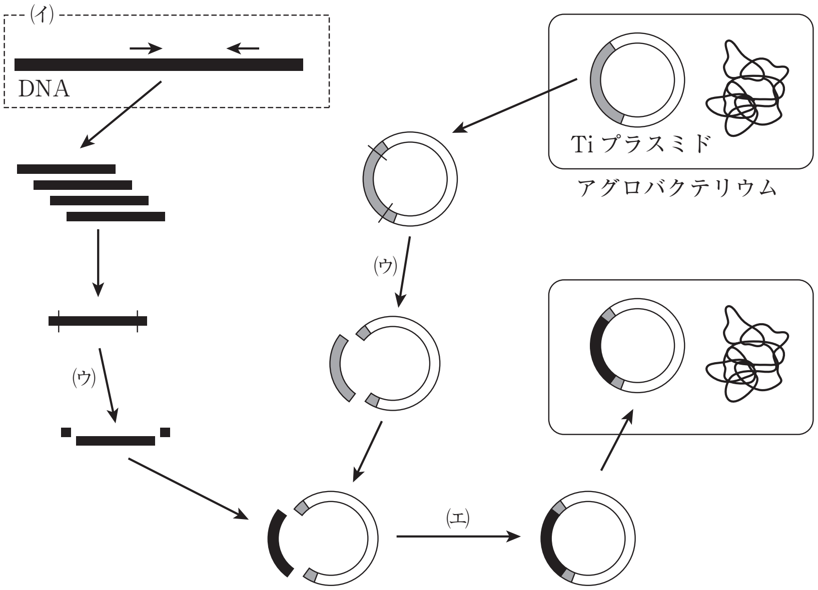


図１－３　遺伝子導入に用いるアグロバクテリウムの調整方法。Tiプラスミドの灰色の部分は，本来アグロバクテリウムが，植物の核のDNAに組み込みDNA領域であることを示す。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　実験１について。品種Ａとコシヒカリとの交配で得られたF_1個体の，病気に対する表現型はどのようになるか，答えよ。

B　実験２について。コシヒカリを雌親としたF_1の方が，品種Ｂを雌親としたF_1よりも，胚乳におけるアミロースの割合が高くなった理由を，被子植物特有の受精様式を考慮した上で，90字程度で述べよ。

C　実験３について。種子集団Ｒの中に含まれると考えられる純系の種子の割合を，分数で答えよ。

D　下線部(ア)について。以下の(a)と(b)に答えよ。

(a)　DNAマーカーによる選抜を行わずに，４回の戻し交配によってできた個体(F_1BC_4)を考える。仮に独立に遺伝するn対の遺伝子が存在するとした場合，交配相手とコシヒカリの対立遺伝子がヘテロ接合になると期待される遺伝子対の数を，nを用いた分数で答えよ。

(b)　DNAマーカーによる選抜を行わずに，表現型による選抜によって，品種Ａと同等な性質をもつ品種を作出するためには，図１－１で示す過程と比べて，長い年月を必要とする。その理由を90字程度で述べよ。

E　品種Ｃの草丈を低くさせる遺伝子は，1960年代からの急激なコメの増産によって，当時の食糧危機を救ったとされる「緑の革命」で中心的な役割を果たした遺伝子である。この変異はある遺伝子の機能欠損による潜性(劣性)変異である。一方，コムギにおいて「緑の革命」を主導した草丈の低い品種の作出には，草丈が低くなる顕性(優性)の遺伝子が利用されている。この違いは，イネが二倍体であるのに対して，コムギが六倍体であることと関連があると考えられる。コムギではイネと異なり，潜性(劣性)変異が利用されにくい理由を80字程度で述べよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(イ)，(ウ)，(エ)には遺伝子操作でよく用いられる酵素が使われる。それぞれに最も適切な酵素を以下の(1)～(4)から選び，(イ)－(5)のように答えよ。

(1)　DNA合成酵素　　(2)　DNAリガーゼ　　(3)　DNA分解酵素

(4)　制限酵素

B　下線部(カ)について。イネの種子は，種子貯蔵物質の蓄積の様式が，エンドウの種子とは異なっている。その違いを80字程度で述べよ。

C　下線部(ク)における胚の細胞からカルスへの変化，下線部(サ)におけるカルスから芽への変化のことをそれぞれ何というか。(ク)－○○○，(サ)－×××，のように答えよ。

D　下線部(キ)，(ケ)，(コ)の培地に含まれる植物ホルモンXとYについて正しい記述を，以下の(1)～(6)からすべて選べ。

(1)　Xは離層の形成を促進する。

(2)　Xは幼葉鞘（ようようしょう）の先端から基部方向へ移動する。

(3)　Xをイネの種子に与えると，胚乳のデンプン分解が促進される。

(4)　Yを葉に与えると，老化が抑制される。

(5)　Yは果実の成熟を促進する。

(6)　Yはイネに病気を引き起こす菌が分泌する物質として同定された。

E　下線部(オ)のプラスミドには，目的遺伝子とともに，あらかじめ，ある除草剤に対して耐性となる遺伝子が組み込んである。また，下線部(ケ)と(コ)の培地にはこの除草剤を加えてある。この方法により，トランスジェニック個体を効率よく取得することができる。その理由を100字程度で述べよ。

第８講　確認テスト

近年，遺伝子工学の進歩が目覚ましい。1970年代に，DNAの特定の塩基配列を認識して切断する(　ア　)やmRNAに対して相補的なDNAを作成する(　イ　)，DNAの切れ目をつなぐ酵素(　ウ　)が相次いで発見され，その応用の一つとしてすい臓(　エ　)内の(　オ　)細胞で分泌されるインスリンが大腸菌を用いて合成された。

大腸菌を利用したインスリン合成には様々な遺伝子工学が関わっている。その一つに遺伝子発現の調節機構がある。遺伝子の中には特定の環境条件の時にだけ発現するものがあり，この調節は(　カ　)の段階で行われていることが多い。(a)1961年ジャコブとモノーがこの調節機構を大腸菌のラクトース分解において証明した。通常，大腸菌はグルコースを利用して生育するが，グルコースがない場合ラクトースも利用する。大腸菌はラクトースをラクトース分解酵素で分解し，生成されたグルコースを生育に利用する。図1のごとく，ラクトース分解酵素遺伝子群の上流に隣接し，(　カ　)の開始を指示する(　キ　)が結合するスイッチ領域であるプロモーターと(　カ　)の調節を行う(　ク　)領域，(　ク　)により合成されたタンパク質が結合する(　ケ　)が存在する。これらはまとめてオペロン説として提唱された。グルコースがなくラクトースが存在する時，ラクトースの代謝産物は(　ク　)により合成されたタンパク質と結合すると，(　ケ　)から離れ，(　カ　)が(　コ　)される。

ラクトース擬似物質としてIPTGや(b)Xgalが開発された。IPTGはラクトース分解酵素により分解されず，Xgalはラクトース分解酵素により分解されて青色を発色する特徴(分解されないと白色である)がある。大腸菌内のラクトース分解酵素遺伝子群の後にインスリン遺伝子を挿入し，IPTGを入れると，原理的には大腸菌内でインスリンが大量に産生されることになる。現在，この方法の応用が様々なタンパク質の合成を可能としている。

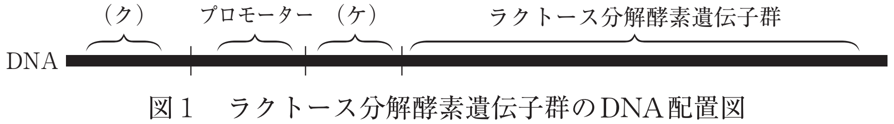


図１　ラクトース分解酵素遺伝子群のDNA配置図
(上記の遺伝子群はラクトース分解酵素を含む3種のタンパク質をコードする。)

問１　文中の(　ア　)～(　コ　)に適切な語句を記入せよ。

問２　文中の下線部(a)の実験で，野生株と共にプロモーター，(　ク　)，(　ケ　)のいずれかの領域の1か所に突然変異を持つ大腸菌をそれぞれプロモーターの変異大腸菌A，(　ク　)の変異大腸菌B，(　ケ　)の変異大腸菌Cとし，表1のような培地の条件で培養したところ，大腸菌の生育とラクトース分解酵素の産生に表1の結果がみられた。以下の問いに答えよ。

表１　大腸菌の種類，培養条件とその結果

条件	大腸菌の種類	培地の条件		大腸菌の生育	ラクトース分解酵素産生
		グルコース	ラクトース		
1	野生株	＋	－	＋	－
2		－	＋	(　サ　)	(　シ　)
3		＋	＋	＋	時間が経過してから＋
4	変異株(ス)	＋	－	＋	＋
5		－	＋	＋	＋

(1)　条件１ではなぜラクトース分解酵素が産生されなかったか，ク，ケの記号を用いて説明せよ。(25字以内)

(2)　条件２の(　サ　)(　シ　)に入る記号を記入せよ。

(3)　条件３での大腸菌の生育曲線を図示せよ。

(4)　条件４，５の変異株(　ス　)に入る可能性のある変異大腸菌はどれか，変異大腸菌A，B，Cで答えよ。解答は1個とは限らない。

問３　文中の下線部(b)を考慮して図2のごとく設計されたプラスミドを利用し，プラスミド(D～H)の入った大腸菌の培養を行った。ただし，プラスミドを入れる前の大腸菌はラクトース分解酵素を産出できない。培地の条件と大腸菌の生育の関係を表2で示した。以下の問いに答えよ。

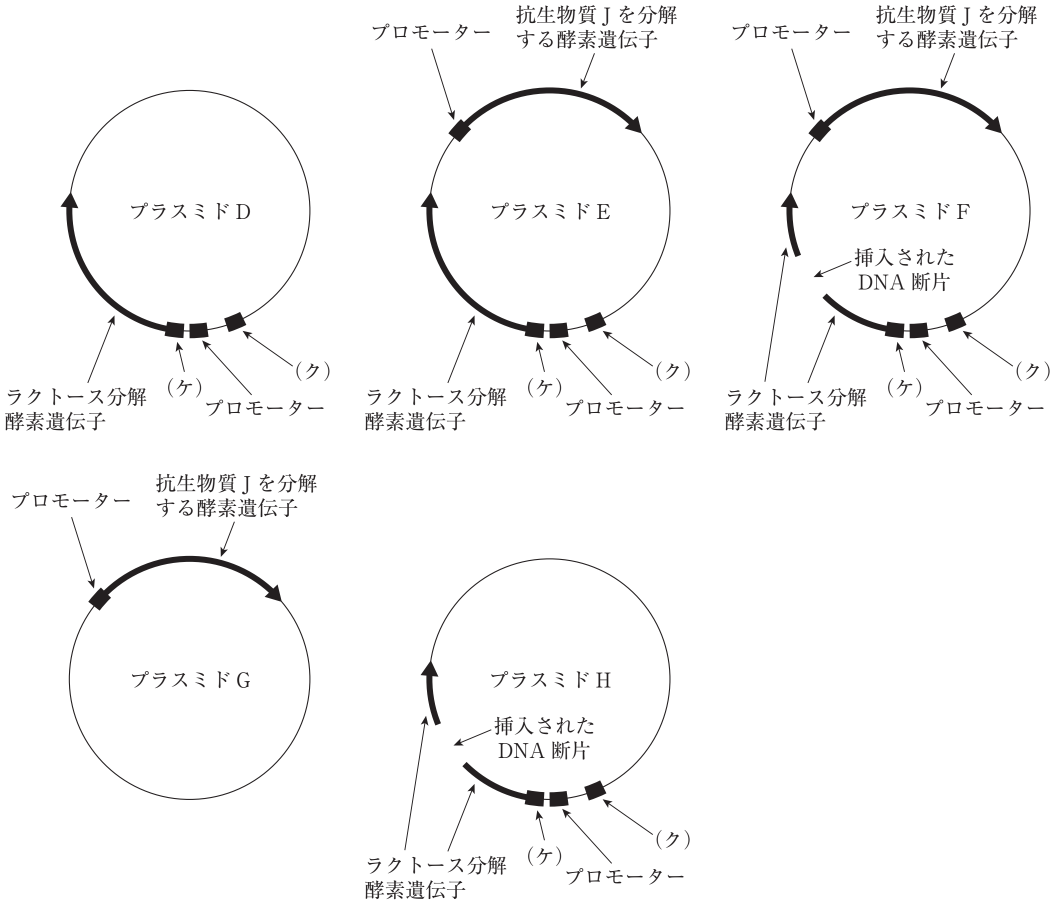


図２　実験に使われたプラスミド
（ラクトース分解酵素遺伝子は1種のラクトース分解酵素をコードする。）

表２　プラスミドの種類と大腸菌の生育の関係

条件	プラスミドの種類	培地の条件		大腸菌の生育
		抗生物質J	Xgal	
1	プラスミドD	＋	－	－
2	(　セ　)	－	－	＋
3	(　ソ　)	－	＋	＋(白色)
4	(　タ　)	－	＋	＋(青色)
5	(　チ　)	＋	＋	＋(白色)
6	(　ツ　)	＋	＋	＋(青色)

⑴　条件１でなぜ大腸菌は生育しなかったのか，説明せよ。(25字以内)

⑵　条件２～６の(　セ　)～(　ツ　)に入る可能性のあるプラスミドはどれか，記号で答えよ。解答は１個とは限らない。

第９講　生態系内の物質循環

【1】　次の文１～４を読み，（Ⅰ）～（Ⅳ）の各問いに答えよ。

〔文１〕

生物は，少数の例外をのぞいて，(ア)太陽のエネルギーを生命の維持に利用している。緑色植物は，光合成によって，光エネルギーを利用して二酸化炭素と水から有機物を合成する。有機物の形をとったエネルギーは，食物連鎖の過程でさまざまな仕事をし，最終的には熱エネルギーとなって地球外へと失われる。一方，物質も生物間を移動していく。(イ)植物は草食動物に食べられ，草食動物は肉食動物に食べられる。また，動物の死骸や排泄物，あるいは枯れた植物などは微生物により無機化合物や簡単な有機化合物に分解され，よく象徴的にいわれるように「再び土にかえる」。そして，その物質を利用してまた新たな生命が育まれる。生物が利用している物質は，30～40種類の元素からなり，これらは生体元素と呼ばれる。すべての生体元素は，生物と無生物の間を循環している。これが物質循環である。

地球上の循環物質は光合成生物の出現によって大きく変化し，地球環境と生物は相互作用しながら変化してきた。(ウ)原始大気の主成分であった二酸化炭素は，光合成の基質として使われ，現在では大気のわずか0.035％を占めるに過ぎない。代わって，光合成の副産物である酸素の量が増大し，これは好気的な呼吸の発達をうながした。(エ)好気的な呼吸の効率的なエネルギー獲得様式は，生命に新たな進化の可能性をひらいた。また，酸素量の増大はオゾン層の形成をもたらした。オゾン層によって紫外線から保護されるようになった生物は，ここに初めて本格的に陸上への進出を果たしたと考えられている。一方，大気中の窒素分子の量は，地球の歴史を通して大きくは変化しなかった。窒素はアミノ酸やヌクレオチドの合成に不可欠な元素であり，窒素分子から放電などにより有機窒素化合物が生成され，原始生命の誕生につながったと考えられる。

〔文 2〕

窒素は自然界において，窒素分子，無機窒素化合物，有機窒素化合物の 3 つの形をとっている。自然界での窒素の循環について，現在考えられている概略を示したのが図 1 である。植物は無機窒素化合物を吸収してアミノ酸やタンパク質などの有機窒素化合物を作り，それを動物が利用する。枯れた植物，動物の遺体や排泄物などを従属栄養微生物が分解する。有機窒素化合物が分解されると，アンモニウム塩が生じる。(オ)アンモニウム塩は植物によって直接利用されるか，あるいは生物作用によって亜硝酸塩を経て硝酸塩に酸化される。酸素の少ない環境下ではアンモニウム塩のままのこともある。以上が自然界での窒素の主要な循環経路で，図 1 では太い矢印で示している。

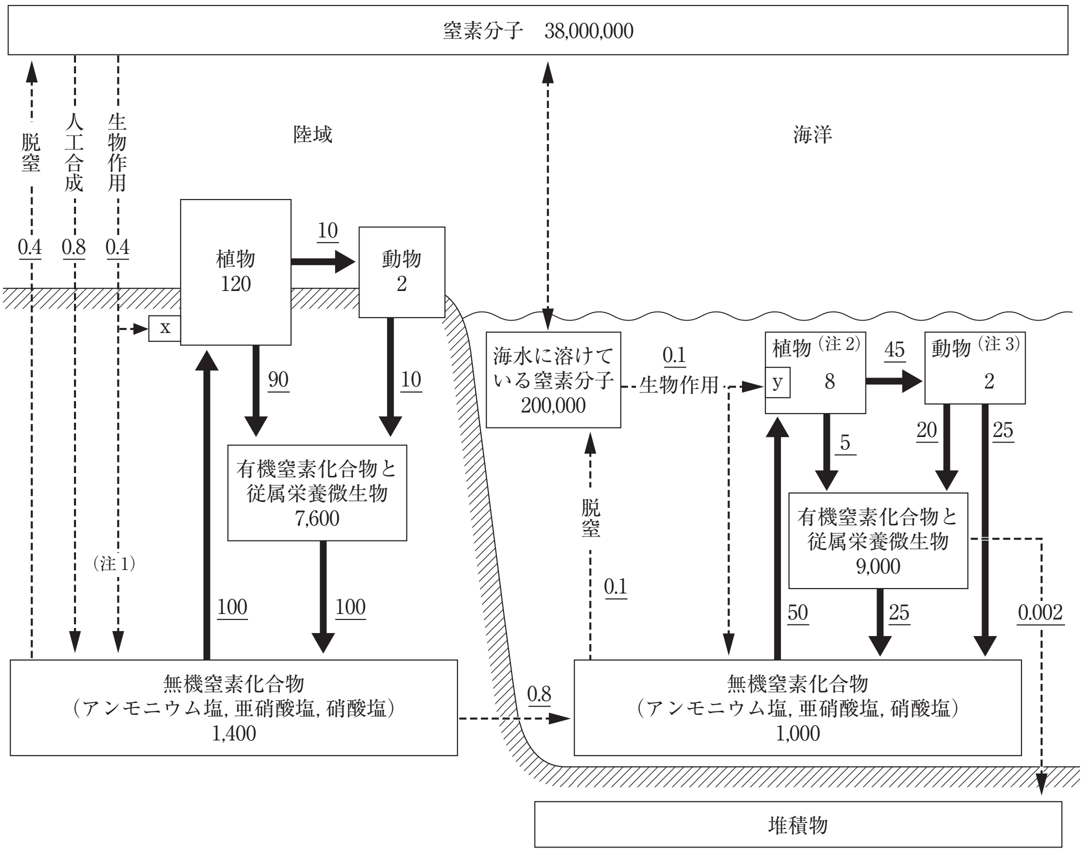


図 1　自然界における窒素の循環の概念図

数字は億トン窒素，下線のついた数字は年間の推定移動量を示す。

（注 1）　アゾトバクターなどの一部の生物の働きによる。

（注 2）　大部分が植物プランクトンからなる。

（注 3）　大部分が動物プランクトンからなる。

〔文 3〕

大気と海水中には大量の窒素分子が存在し，それぞれ図 1 に示された太い窒素循環につながっている。つまり，(カ)窒素分子からも，生物作用で無機窒素化合物を作るしくみがある。しかし，窒素分子を利用できる生物は限られていて，自然界では窒素分子からつくられる無機窒素化合物の量は，陸域と海域で合わせて，年間に窒素概算で0.5億トン程度と推定されている。これは図 1 に示された太い窒素循環で移動している量に比べると著しく少ない。自然界にはまた(キ)生物により無機窒素化合物を窒素分子にもどす脱窒の働きがある。脱窒により窒素分子にもどる量は年間に0.5億トン程度と考えられ，窒素分子から無機窒素化合物が生物作用により生産される量とほぼ等しい。

〔文 4〕

窒素循環の中で，人や家畜も大きな役割を果たしている。たとえば，陸域の動物に含まれる窒素のうち，30〜50％が人と家畜のものである。陸上の植物では，窒素は大部分が森林の樹木に含まれており，農作物に含まれるのは5％程度である。この農作物を育てるために，人は窒素分子からアンモニウム塩を人工的に合成して肥料として農地にまいている。その窒素量は1970年には世界中で年間0.3億トンだったものが，1989年には0.8億トンに増え，窒素分子から生物作用でできる無機窒素化合物の年間量を超えている。一方，人は無機窒素化合物から窒素分子に人工的にもどすことはしていない。

農地にまかれた窒素肥料のうち，農作物に吸収されるのはごく一部で，ほとんどが農地に残り，やがて雨に洗われて地下水や河川・湖沼に入り，沿岸海域にまでその影響は及ぶ。農業地帯の地下水は無機窒素化合物を高濃度で含むようになる。(ク)肥料としては，窒素以外にも生育の限定要因になりやすいリンやカリウムも同時に用いられる。通常，植物に利用されなかったリンは不溶性リン酸塩として土壌に吸着するが，一部は吸着されずに湖沼や沿岸海域に流れ出す。

〔問〕

（Ⅰ）　文1について。次の小問に答えよ。

(A)　下線部(ア)について。人は，直接生命の維持に用いるエネルギーの他に，産業活動などで石油や石炭のエネルギーを使っている。これも，結局，太陽のエネルギーを使っていることになるが，それはなぜか。35字以内で述べよ。

(B)　下線部(イ)について。食物連鎖の段階を１つ経るごとに上位の生物の利用できる物質とエネルギーは減少してしまう。それはなぜか。40字以内で述べよ。

(C)　下線部(ウ)について。現在，大気中の二酸化炭素濃度が上昇し，地球温暖化の危険が指摘されているが，二酸化炭素濃度の上昇の原因は何か。35字以内で述べよ。

(D)　下線部(エ)について。好気的な呼吸は嫌気的な発酵に比べてなぜ効率的なのか。理由を70字以内で述べよ。

（Ⅱ）　文2について。次の小問に答えよ。

(A)　下線部(オ)について。次の問いに答えよ。

(a)　自然界でアンモニウム塩を硝酸塩へ変える生物作用を何というか。

(b)　また，それを進めている生物名を１つあげよ。

(B)　動物に対する植物の現存量は，陸域では60倍なのに対して海洋では４倍にすぎない。これは海洋の植物の窒素吸収率が高いことに起因していると考えられる。このことを図中の数値を用いて120字程度で説明せよ。

(C)　無機窒素化合物から植物を経た動物への窒素の流れは，陸域と海洋で大きく異なる。窒素の流れに，なぜそのような違いが生じるかを150字程度で述べよ。

（Ⅲ）　文３について。次の小問に答えよ。

(A)　下線部(カ)について。次の問いに答えよ。

(a)　自然界で大気中の窒素分子を生物が直接利用することを何というか。また，その際に窒素分子からつくられる無機窒素化合物名は何というか。

(b)　図１のｘで窒素分子を直接利用している生物名を１つあげよ。この生物は植物と共生している。同じくｙでの生物名を１つあげよ。

(B)　下線部(キ)について。脱窒について最も適当と思われるものを２つ選び番号で答えよ。

(1)　脱窒で使われる基質はアンモニウム塩である。
(2)　脱窒で使われる基質は硝酸塩である。
(3)　脱窒をする生物は一部の細菌である。
(4)　脱窒をする生物は一部の土壌動物である。
(5)　脱窒によって生物はエネルギーを獲得する。

(C)　図１は地球全体を示したものであり，地域によってはそれぞれの区分の窒素の現存量の割合が図１とは異なっている。たとえば，熱帯林では「有機窒素化合物と従属栄養微生物」と「無機窒素化合物」の区分の現存量は少なく，大部分が「植物」と「動物」の区分に含まれる。なぜそうなるのか，その理由を考えて70字以内で述べよ。

（Ⅳ）　文４について。次の小問に答えよ。

(A)　陸域には大量の無機窒素化合物が存在しているにもかかわらず，窒素肥料を人工合成して農地にまくのはなぜか。その理由として考えられることを70字以内で述べよ。

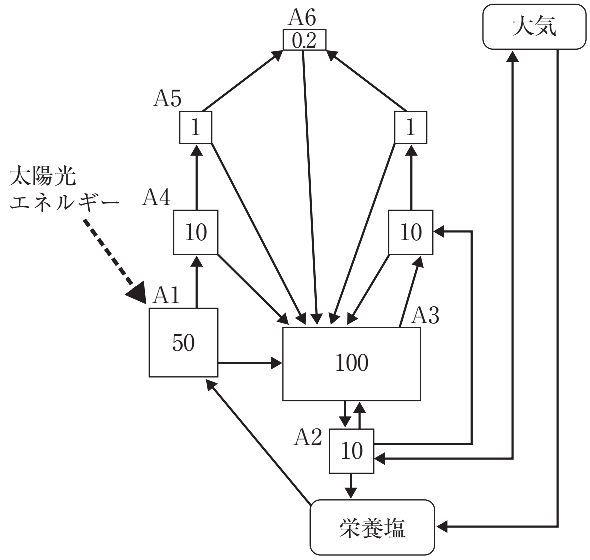
(B)　下線部(ク)について。窒素のみを肥料として与えたときと，リンやカリウムとともに与えたときで，無機窒素化合物から植物への窒素の流れの太さはどのようにちがうと考えられるか。理由とともに70字以内で述べよ。

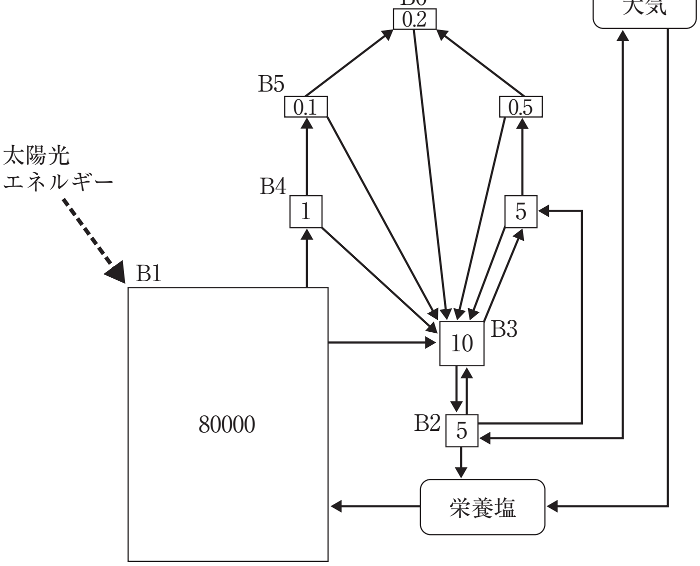
(C)　陸域に人工肥料をまくことでおこる海洋の環境問題を１つあげよ。

第９講　確認テスト

生態系に関する次の文章を読み，問１～５に答えよ。

自然界は，森林，草地（草原），河川，湖沼や海洋等，それぞれ特徴をもった多様な生態系で構成されている。次の図は，仮想のＡ生態系とＢ生態系における，構成要素間の主な関係を示したものである。図中の四角は生態系の各構成要素を示し，その中の数字は生物量または物質量（単位面積あたりの生物重量または物質重量）を表している。なお，図中のA4～A6とB4～B6も栄養塩との関係（矢印）をもつが，この図では省略してある。





問１　図中のＡ生態系の構成要素を示すA1～A6に該当する適当な用語を，以下の(ア)～(カ)から選び答えよ。

(ア)　生産者　(イ)　分解者　(ウ)　一次消費者　(エ)　二次消費者
(オ)　三次消費者　(カ)　生物遺体・排出物等

問２　図中の矢印（実線）は，全体として生態系の構成要素間のどのような関係を表していると考えられるか。20字以内で述べよ。

問３

(1)　栄養段階が１段階高くなるごとに生物量は減少している。この時，栄養段階が１段階高くなるごとに個体数はどのように変化すると考えられるか。40字以内で述べよ。

(2)　この栄養段階にともなう個体数の変化を表す図を何と呼ぶか答えよ。

問４　Ａ生態系およびＢ生態系の主な違いについて40字以内で述べよ。

問５　森林，湖沼，海洋のそれぞれは，Ａ生態系およびＢ生態系のどちらのタイプとなると考えられるか答えよ。

〈Note〉

第10講　進化の仕組み

【1】　進化について以下の問題に答えよ。

Ⅰ　現代進化論では，生物集団における遺伝子頻度の変化として進化を考える。いま，ある生物において，次の図1に示すような進化が起きたと仮定する。

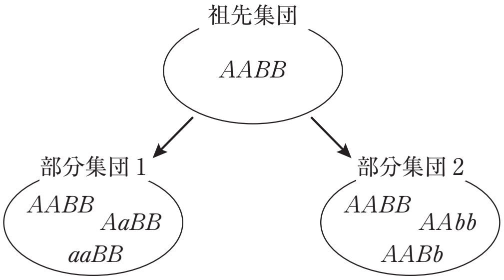


図1　ある生物種における進化過程

この過程で，祖先集団は遺伝子型$AABB$のみからなり，それが2つの部分集団に隔離された。そして，それぞれの部分集団において異なる遺伝子に突然変異が生じ，部分集団1では対立遺伝子Aとaが共存(それぞれの遺伝子頻度を0.4と0.6とする)し，部分集団2では対立遺伝子Bとbが共存(それぞれの遺伝子頻度を0.6と0.4とする)するようになった。なお，以下の設問では，2つの部分集団および混合群(後述)において，それぞれの対立遺伝子についてハーディ・ワインベルグの法則が成り立つものとする。

問1　部分集団1と部分集団2から同数の個体をランダムに選び出して混合群をつくり，交配させることを考える。

(1)　混合群における対立遺伝子Aおよびaの遺伝子頻度を求めよ。

(2)　混合群から生じる次世代(第一世代)において，遺伝子型$aabb$の個体が占める割合[%]を求めよ。ただし，2対の対立遺伝子は互いに独立であるものとする。

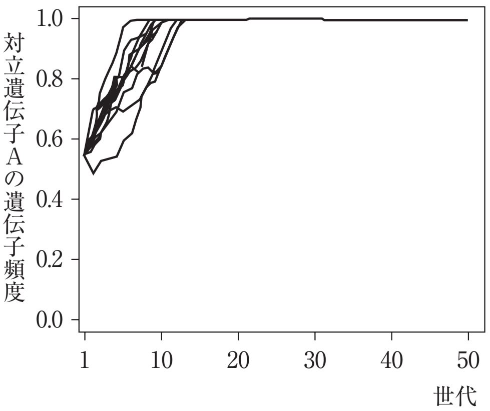
(3)　(2)の第一世代から生じる世代(第二世代)において，遺伝子型$aabb$の個体が占める割合[%]を求めよ。

問2　問1とは異なり，2対の対立遺伝子が連鎖している場合を考えると，1本の染色体上に存在する対立遺伝子の組み合わせは，部分集団1ではAとB，aとBの2種類であり，それぞれの組み合わせの頻度は，0.4と0.6となる。一方，部分集団2ではAとB，Aとbの2種類の組み合わせがあり，それぞれの頻度は0.6と0.4となる。2つの部分集団から同数の個体をランダムに選び出して混合群をつくり交配させた場合，第二世代において遺伝子型$AABB$の個体が占める割合[%]を求めよ。ただし，2対の対立遺伝子は完全に連鎖しているものとする。

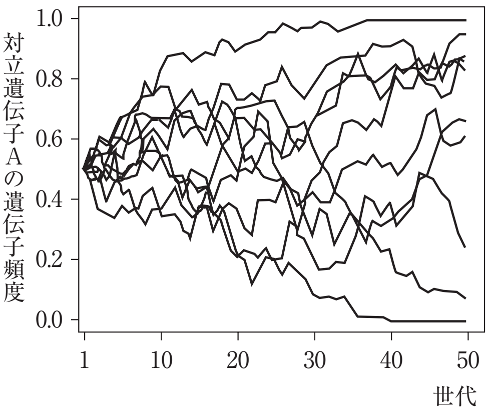
Ⅱ　遺伝的浮動と自然選択がハーディ・ワインベルグの法則に与える影響を明らかにするため，簡単なシミュレーションをおこなった。遺伝的浮動は集団サイズに関係するため，集団内から生じた配偶子の数(N)として，10個の場合(N＝10)と100個の場合(N＝100)の2通りを考えた。自然選択(S)はある対立遺伝子が次の世代に引き継がれる確率を変化させるため，自然選択が全くはたらかない場合，つまりどの対立遺伝子も同じ確率で次世代に引き継がれる場合(S＝0.0)と，ある対立遺伝子が他の対立遺伝子よりも5%次世代に引き継がれやすい場合(S＝0.05)の2通りを考えた。

集団のある遺伝子には対立遺伝子Aと対立遺伝子Bが存在し，初期状態(ゼロ世代目)の遺伝子頻度はいずれも0.5とした。この初期状態から，コンピュータによって対立遺伝子をランダム(S＝0.0)もしくは対立遺伝子Aを対立遺伝子Bより5%高い確率(S＝0.05)で，10個(N＝10の場合)もしくは100個(N＝100の場合)選び，次の世代とした。この計算を50回連続しておこなうことで，50世代後までの各世代における対立遺伝子Aの遺伝子頻度を算出した。以上が1回のシミュレーションであり，N＝10または100，S＝0.0または0.05の設定(4通り)で，それぞれ10回ずつシミュレーションした結果が，図Ⅰ～図Ⅳのいずれかに示してある。言い換えると，図Ⅰ～図Ⅳにはそれぞれ10本の線があり，1本の線が1回のシミュレーション結果に相当する。ここで，対立遺伝子Aの遺伝子頻度が1.0になることを，対立遺伝子Aが集団内に固定された(対立遺伝子Bが集団から消失した)と言う。

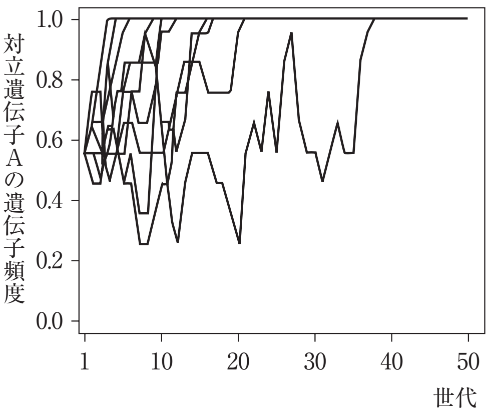
図Ⅰ



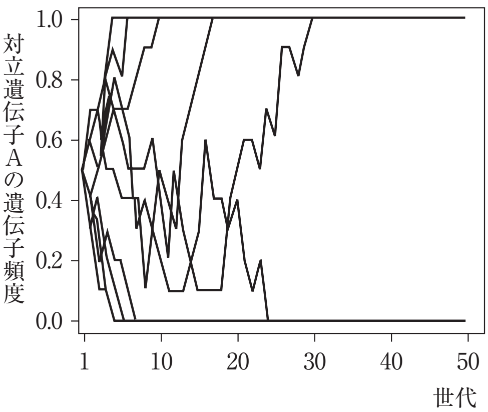
図Ⅱ



図Ⅲ



図Ⅳ



問3　N＝10，S＝0.05のシミュレーション結果としてもっとも適切なものを次の①～④の中から一つ選べ。

①　図Ⅰ　　②　図Ⅱ　　③　図Ⅲ　　④　図Ⅳ

問4　図から読み取れる結果としてもっとも適切なものを次の①～⑥の中から一つ選べ。

① N＝10，S＝0.0の場合，集団内に対立遺伝子Aが固定される確率は，N＝100，S＝0.05の場合よりも高い。

② N＝10，S＝0.05の場合，N＝100，S＝0.0の場合よりも短い世代で集団内に対立遺伝子Aが固定される。

③ N＝100，S＝0.0の場合，50世代経つと，集団内の対立遺伝子はAまたはBのどちらか一方に固定される。

④ N＝100，S＝0.05の場合，30世代経つと，集団の対立遺伝子はかならずBに固定される。

⑤ S＝0.0の場合，N＝10よりもN＝100の方が，対立遺伝子Aは集団内に固定しやすい。

⑥ S＝0.05の場合，N＝100よりもN＝10の方が，対立遺伝子Aは集団内に固定しやすい。

問5　S＝0.0でNを無限大にしたとき，どのような結果が得られると考えられるか。対立遺伝子Aの遺伝子頻度に対する説明としてもっとも適切なものを次の①～④の中から一つ選べ。

① 世代毎の変動はなく，シミュレーション毎でも結果は変わらない。

② 世代毎の変動はないが，シミュレーション毎に結果が大きく異なる。

③ 世代毎に大きく変動するが，シミュレーション毎の結果は変わらない。

④ 世代毎に大きく変動し，シミュレーション毎でも結果が大きく異なる。

問6　図Ⅰにおいて，ある条件を変化させると，対立遺伝子Aが集団内に固定するまでの平均世代数が増加した。変化させた条件としてもっとも適切なものを次の①～⑤の中から一つ選べ。

① S＝0.1にした。　② S＝0.01にした。

③ N＝200にした。　④ Nを無限大にした。

⑤ 初期状態（ゼロ世代目）における対立遺伝子Aの遺伝子頻度を0.8にした。

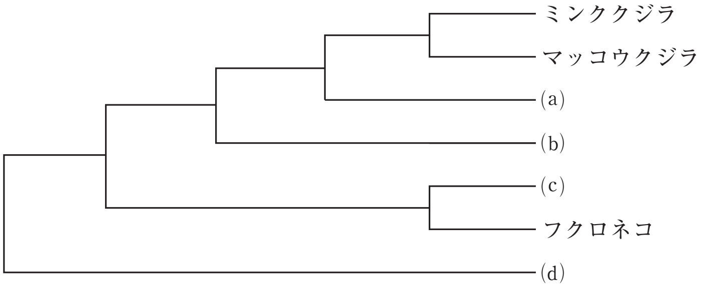
【2】　進化の過程で，アミノ酸の置換が累積している場合がある。例えば，脊椎動物のもつヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列をヒトとゴリラで比較すると，異なるアミノ酸は1個しかないが，ヒトとサメで比較すると79個ある。アミノ酸の置換は，一定の速さで時を刻む時計のように，一定の速度で進むことから分子時計という考え方が生まれた。分子時計によれば，一般に，共通祖先より分岐してから長い時間が経過している生物間ほど，異なるアミノ酸の数が大きくなる傾向がある。

7種の哺乳類について，ヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列を比較したときの異なるアミノ酸の数を表1に，表1をもとにして作成した分子系統樹を図1に，ヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列の一部を図2に示した。

表1

	ミンククジラ	マッコウクジラ	カモノハシ	カバ	イエネコ	オオカンガルー	フクロネコ
ミンククジラ							
マッコウクジラ	18						
カモノハシ	45	46					
カバ	26	21	41				
イエネコ	31	35	43	24			
オオカンガルー	39	36	46	28	30		
フクロネコ	42	35	46	32	35	22	

図1



ヘモグロビンα鎖のアミノ酸の位置

	23	56	83	84	85	86	87	88
ミンククジラ	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
マッコウクジラ	Asp	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(a)	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(b)	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(c)	Glu	Glu	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
フクロネコ	Ala	Glu	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(d)	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala

図2　(a)〜(d)は図1の(a)〜(d)と同じ生物である。

問1　図1の(a)，(c)に入る生物名として最も適するものを，①～④の中から1つずつ選べ。

① カモノハシ　② イエネコ　③ オオカンガルー
④ カ バ

問2　ヘモグロビンα鎖のアミノ酸は約600万年で1個の割合で置換する。ミンククジラとマッコウクジラの系統が分岐したのは約何年前か。また，クジラの共通祖先とクジラに最も近かった哺乳類(図1(a))が分岐したのは約何年前か。それぞれに最も適するものを，①～⑧の中から1つずつ選べ。

ミンククジラとマッコウクジラの系統の分岐：
クジラの共通祖先とクジラに最も近かった哺乳類の分岐：

① 2700万年　② 5400万年　③ 6600万年　④ 7050万年
⑤ 7200万年　⑥ 7800万年　⑦ 9900万年　⑧ 13650万年

問3　ヘモグロビンα鎖の分子進化について，図1，図2から考察した。考察として**適さない**ものはどれか。最も適するものを，①～⑤の中から1つ選べ。

① 有袋類と真獣類(有胎盤類)の分岐点となった共通祖先の第23番目のアミノ酸はGluである。
② 有袋類と真獣類(有胎盤類)の分岐点となった共通祖先の第56番目のアミノ酸はGluである。
③ クジラの共通祖先と図1(a)の分岐点となった共通祖先の第23番目のアミノ酸はGluである。
④ クジラの共通祖先と図1(a)の分岐点となった共通祖先の第56番目のアミノ酸はLysである。
⑤ 第83番目から第88番目の領域のアミノ酸は，ヘモグロビンの機能に重要なはたらきをしている。

問４　アミノ酸置換を引き起こしたDNA塩基配列の変化を推定し，図３に示した。mRNAに相補的なDNA鎖について，表２の遺伝暗号表(mRNAのコドンに対応するアミノ酸の種類を示した)を用いて，図中の(あ)，(う)に最も適する塩基配列を，①～⑨の中から１つずつ選べ。なお,1つのアミノ酸の置換はコドン中の1つの塩基置換で生じたものとする。

Glu	→	Gly	→	Ala	→	Pro
(あ)		(い)		(う)		(GGC*)

図３

*：mRNAに相補的なDNA鎖について，コドンの塩基の並び順通りに，対になる塩基を記した。

表２

CCU		GCU		GGU		GAA	Glu
CCC	Pro	GCC	Ala	GGC	Gly	GAG	グルタミン酸
CCA	プロリン	GCA	アラニン	GGA	グリシン		
CCG		GCG		GGG			

①　GGG　②　GGA　③　GAG　④　CGC　⑤　GGT
⑥　CGT　⑦　CTC　⑧　CTT　⑨　CCC

第10講　確認テスト

（文 1）

現在の地球上には，報告されているだけでもおよそ3000種類以上のショウジョウバエが生息している。日本ではこのうちおよそ250種類以上の生息が確認されている。

それぞれのショウジョウバエには，国際規約により定められた命名方法に従って学名がつけられている。例えば，キイロショウジョウバエには*Drosophila melanogaster*という学名がつけられている。このうち*Drosophila*の部分を分類学的に［あ］と呼び，*melanogaster*の部分を［い］とよぶ。このように2つのラテン語の組み合せにより生物の名前を表す方法を［う］という。この方法は1753年に「分類学の父」といわれるスウェーデン人の［え］によって確立された。

さらに［え］は上位の分類階級を設定して生物界の体系化を試みている。キイロショウジョウバエの分類学的位置は動物［お］，節足動物［か］，昆虫［き］，ハエ(双翅)［く］，ショウジョウバエ科となる。

生物間の系統類縁関係を推定する方法は多様であり，体制，生殖法，発生様式，生活様式，塩基配列などの比較により推定できる。<u>ショウジョウバエは三胚葉性の旧口動物であり，真体腔をもつ節足動物の仲間に分類される</u>。

〔1〕　文章中の［あ］～［く］にあてはまる語句を答えよ。

〔2〕　文章中の下線部に関連して，旧口動物および真体腔を説明した記述として正しいものを下の選択肢の中から1つ選べ。

① 動脈と静脈が毛細血管でつながっておらず，体液が組織のすきまを流れるものを旧口動物といい，中胚葉性の上皮細胞で囲まれて体腔になったものを真体腔という。

② 動脈と静脈が毛細血管でつながり，血しょうを除く大部分の血液成分が血管外に浸出しないものを旧口動物といい，いろいろな胚葉由来の細胞で囲まれて体腔になったものを真体腔という。

③ 胚の原口がそのまま成体の口になるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔がそのまま体腔になったものを真体腔という。

④ 胚の原口がそのまま成体の口になるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔でない空所が新たに生じて体腔になったものを真体腔という。

⑤ 胚の原口またはその付近に肛門が形成され，その反対側に口が形成されるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔がそのまま体腔になったものを真体腔という。

⑥ 胚の原口またはその付近に肛門が形成され，その反対側に口が形成されるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔でない空所が新たに生じて体腔になったものを真体腔という。

（文 2）

生物の種を一意的に定義することは難しいが，現在，マイアの提唱した生物学的種概念が最も広く使われている。ここでいう種とは，(a)ほかの種とは交配が起こらず，また遺伝子が交流しないしくみをもっている自然集団を指している。

キイロショウジョウバエ(以下キイロと表記)と極めて近縁である種にオナジショウジョウバエ(以下オナジと表記)がいる。キイロとオナジは共に人家環境に適応し世界中に生息域を広げている種である。両種は自然界においても交配を行い，雑種を形成することもあるが，雑種には生殖能力がなく，一代限りで絶えてしまう。このことから，キイロとオナジは異なる種であると判断できる。

両種の系統類縁関係を明らかにするために，分子生物学をはじめとする様々な研究がこれまでに行われている。それらの研究により，(b)キイロが祖先種(古い種)であり，そこから種分化によって派生種(新しい種)のオナジが生じたと考えられている。

この考えは，1979年に渡辺・河西により発表された，ショウジョウバエの近縁種間における交配成功率と種分化の方向に関する研究結果からも支持されている。キイロとオナジの間で雌雄を入れ替えた交配(正逆交配)を行った場合，どちらの種を雄にするか雌にするかで，交配成功率が極端に異なる(表1)。(c)渡辺・河西はこの交配成功率の違いが種分化の方向を示しているとし，キイロからオナジが生じたと結論づけている。

表 1

交配	交配成功率
オナジ♀×キイロ♂	2.4％
キイロ♀×オナジ♂	39.6％

（♀：雌，♂：雄）

〔3〕 下線部(a)に関連して，同一地域に生息する集団内に，繁殖時期や生殖器官の構造を異にするような変異が生じ，変異個体と他個体との間で子孫が残せなくなる状態を何とよぶか。

〔4〕 下線部(b)および(c)に関連して，交配成功率と種分化の方向との関係性について，正しく説明した記述はどれか。下の選択肢の中から1つ選べ。

① 派生種を雄としたときの交配成功率は，祖先種を雄としたときのそれよりも低い。

② 祖先種を雌としたときの交配成功率は，派生種を雌としたときのそれよりも高い。

③ 祖先種を雌としたときの交配成功率は，派生種を雌としたときのそれよりも低い。

④ 正逆交配での交配成功率の合計が50％以下であれば，より交配成功率の高い組み合わせの雄が祖先種である。

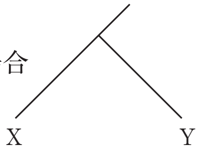
⑤ 正逆交配での交配成功率の合計が50％以下であれば，より交配成功率の低い組み合わせの雌が祖先種である。

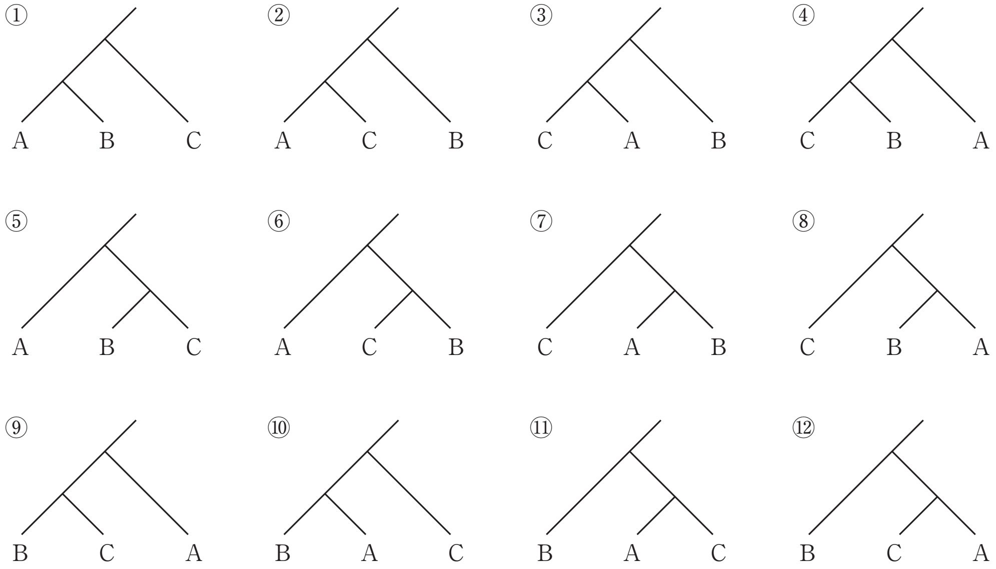
〔5〕 互いに極めて近縁なショウジョウバエA，B，C種について，この3種間の正逆交配の結果は表2の通りであった。渡辺・河西の考えにもとづいて作成された3種の系統樹として最も適当なものを，次の系統樹の描きかたを参考にして，下の選択肢の中から選べ。なお，交配成功率の平均値が高い種どうしほど，より近縁であるものとする。

表2

交配	交配成功率	交配成功率の平均値
B♀×A♂	5.0%	25.0%
A♀×B♂	45.0%	
C♀×A♂	0%	19.0%
A♀×C♂	38.0%	
C♀×B♂	8.0%	53.5%
B♀×C♂	99.0%	

〔系統樹の描きかた〕 Xが祖先種で，Yが派生種の場合





テキスト解答

第 1 講

【1】

1．RNAに含まれないチミンを用いることで，DNAを特異的に標識できる。

2．S期（DNA合成期）

3．G_2期

4．M期（分裂期），１時間

5．S期（DNA合成期），３時間

6．10時間

7．10－（3＋2＋1）＝4　　答）４時間

【2】

問１　(ア)　c），d），e）　(イ)　g）

問２　48分

問３　重い…a）　軽い…f）

問４　重い…g）　軽い…g）

第２講

【1】

⑴　複対立遺伝子

⑵　結果1

⑶　BB

⑷　AB型とAB型，AB型とB型

⑸　　子1　AA，AO　　　子2　BB

⑹　*Dd*，*dd*

⑺　33.3％

【2】

問1　雄の場合，X染色体1本に変異があるとどの細胞も酵素Eの活性を失っているので重症化するが，雌の場合，X染色体の変異を2本持つときだけ重症化するものの，1本の場合は半数の細胞は酵素Eの活性が残っているので軽症ですむ。

問2　(g)

問3　(i)

第 3 講

【1】

問1　1　シナプス

　　　2　ナトリウム（イオン）

　　　3　伝達

　　　4　活動電位

問2　1.3×10^{3}［分子］

問3　(エ)

問4　(イ)

問5　(ウ)

問6　終板電位は微小終板電位の整数倍で構成されており，このことから神経伝達物質は微小終板電位を発生させるのに要する約1300分子を単位として神経末端から放出されると考えられる。

【2】

問1　④　　問2　⑧　　問3　⑧　　問4　④　　問5　①

問6　(1)　36mm　　(2)　②

問7　⑦

第４講

【1】

問１　ア　拒絶反応　　イ　主要組織適合遺伝子複合体［MHC］

　　　ウ　細胞　　エ　体液(液)

問２　(b)

問３　ABO式血液型抗原に対する抗原抗体反応

問４　親から子への皮膚移植　○　　子から親への皮膚移植　×

問５　a　×　b　○　c　○

問６　マウスＣから移植された胸腺由来のＴ細胞によりマウスＡの体細胞の表面に発現したMHCが非自己と認識され，激しい拒絶反応が生じて死に至る。

【2】

Ⅰ　A　(1)　体液(液)　　(2)　免疫グロブリン　(3)　Ｔ細胞(ヘルパーＴ細胞)

　B　(3)(4)(5)

　C　異なる病原体ＯとＰであるが，立体構造上の類似性を持ち，この部分にIgGの抗原結合部位が合致するため，抗原抗体反応が起きた。(59)

　D　$Y^{+/+}$マウスは，幼少期から細胞表面にＹを発現しているため，Ｙに対する免疫寛容が起こり，Ｙは自己と認識されない。一方，$Z^{-/-}$マウスでは，Ｚが体内に存在しないため，Ｚは非自己として認識されるから。(92)

　E　(3)

Ⅱ　A　(1)(2)

　B　胸腺が形成不全であると，Ｔ細胞が成熟の場を失う。その結果，Ｂ細胞による抗体産生も起こらなくなるため，がん細胞Ｘが注射されても抗体を介したがん細胞に対するマクロファージの食作用が促進されなくなるから。(99)

　C　(4)

　がん細胞Ｘに対するマクロファージの食作用は，マクロファージががん細胞Ｘに結合した抗体のFc部分を認識することで促進されるため。(63)

第 5 講

【1】

問１　ミオシン

問２　ナトリウムイオン

問３　実験１(A)　e　　実験１(B)　c　　実験１(C)　c
　　　実験２　e　　実験３　c

問４

設問(1)

・レーザー照射部以外の細胞膜領域にあった蛍光を発するGFP－X，GFP－Y分子が細胞膜全体に均一に分布するようになったため。(62)

・蛍光を発する能力を持つGFP－X，GFP－Y分子が新たに合成され，細胞膜にあった古い分子と置き換えられたため。(55)

設問(2)

・GFP－YよりもGFP－Xの方が細胞膜中で早く拡散するため。(30)

・GFP－YよりもGFP－Xの方が早く置き換えられるため。(28)

問5　g

【2】

問１　d

問２　脂肪細胞：c　　GLUT：e

問３　赤血球：a　　GLUT：d

問４　c

問５　c，e，i

第6講

【1】

Ⅰ

A　赤色光で発芽が促進され，より波長の長い遠赤色光で発芽が抑制される。(33)

B　1　膨圧　　2　浸透圧　　3　高く［大きく］

C　低くなっている個体，理由…アブシシン酸不応変異体は気孔を閉じることができないため，蒸散が盛んで葉の温度が下がっている個体を選択すれば良い。

D　種子の休眠が維持できない

Ⅱ

A

(a)　(2)

(b)　(2)

理由…(2)の場合，変異体yはYをつくれないため細胞内で一定の反応が起こらないはずだが，実際の変異体yでは気孔が多数形成されているため説明は矛盾している。(72)

(c)　(4)

B　①　光強度　　②　(外気)CO_2濃度

C　外気CO_2濃度0.04％…(3)　　光強度②…(8)

【2】

1．c

2．e

3．ATPが多量に存在するときには解糖系の反応を抑えてグルコースの消費を抑えるため。(40)

4．0.12［モル］

第 7 講

【1】

問1　1　プロモーター　　2　基本転写因子　　3　ヒストン
　　4　ヌクレオソーム

問2　PCR［ポリメラーゼ連鎖反応］

問3　6　イ　　7　オ　　8　ア　　9　エ

問4　外来遺伝子を保持する細胞が生殖細胞に分化しない場合。(26)

問5　ゲノムDNAの異なる場所では，周囲の転写調節領域の有無や種類，クロマチン繊維構造の状態が異なるため。(50)

【2】

問1　一倍体細胞は各染色体を1つずつしかもたないため，各対立遺伝子が存在しない。従って，一倍体細胞では変異した形質が必ず発現されるため，二倍体細胞よりも突然変異が検出されやすい。(86)

問2　C

問3　(う)

問4　(あ)　50%　　(い)　0%　　(う)　50%　　(え)　0%　　(お)　0%

問5　(い)

問6　実験3において，紫外線抵抗性：紫外線非抵抗性＝0：4となった結果から一倍体細胞を得る。これらの細胞にライブラリープラスミドを導入し，紫外線照射，その後それらの細胞を培養し，増殖したコロニーからプラスミドDNAを回収して塩基配列を解析する。(117)

第8講

【1】

I

A　コシヒカリと同じ程度の病気に対する強さを持つ

B　重複受精によりできた胚乳核の核相は$3n$であり，雄親からn，雌親から$2n$受け継ぐので雌親からの影響が大きくなる。このためコシヒカリを雌親としたF_1の方がアミロースの割合が高くなる。(86)

C　$\frac{1}{8}$

D

(a)　$\frac{n}{16}$

(b)　DNAマーカーによる選抜法では種子の段階で目的の種子を選抜できるのに対して，表現型による選抜では，稲を植えて成長させてさらに次世代の形質を確認する必要があるので時間がかかる。(89)

E　イネに比べてコムギはゲノムの数が多いので，目的の遺伝子に変異を起こせて潜性(劣性)ホモ接合体をつくれる確率が低くなり，結果，目的の個体を得ることも難しくなるため。(77)

Ⅱ

A　(イ)　(1)　　(ウ)　(4)　　(エ)　(2)

B　イネの種子は，有胚乳種子であるため種子貯蔵物質は胚乳に蓄積されている。一方，エンドウの種子は，無胚乳種子であるため種子貯蔵物質は子葉に蓄積されている。(75)

C　(ク)　脱分化　　(サ)　再分化

D　(2)，(4)

E　目的遺伝子を組み込んだ個体とそうでない個体の見分けがつかないため，除草剤耐性遺伝子を目的遺伝子とともに組み込み，後から除草剤を加えることで目的遺伝子を組み込んだ個体だけを効率よく得ることができる。(98)

第 9 講

【1】

(Ⅰ)

(A)　光合成によってつくられた有機物が変質して，石油や石炭が生じたから。(33)

(B)　各栄養段階で呼吸，死滅，不消化排出物により失われる部分があるから。(33)

(C)　森林の急速な伐採や石油・石炭などの化石燃料の大量消費。

(D)　好気的な呼吸は，基質を完全に無機物へと分解し，多量のエネルギーを遊離させるが，嫌気的な発酵では，まだエネルギーをもつ生成物を産生するから。(69)

(Ⅱ)

(A)　(a)　硝化作用　　(b)　硝酸菌(亜硝酸菌)

(B)　陸上植物では現存量あたりの無機窒素化合物吸収量は$\frac{100}{120}=0.83$であるのに対して，海洋生物では$\frac{50}{8}=6.25$で，7.5倍になる。海洋植物は植物プランクトンで，全身が同化器官で陸上植物に比べ，単位現存量あたりの窒素吸収効率が高いため。

(C)　陸域では植物の吸収窒素量の10％が動物に移動するが，海洋では90％も移動する。これは，陸上植物では動物が食べることのできる部分は限定されるのに対して，海洋植物では大半が植物プランクトンからなり，全身が動物による捕食の対象となる。その結果，海洋では植物が得た無機窒素化合物の多くが，動物に利用されるため。(142)

(Ⅲ)

(A)　(a)　窒素固定，アンモニウム塩

(b)　x－根粒菌　y－シアノバクテリア(ネンジュモ，アナベナ)

(B)　(2)，(3)

(C)　熱帯林は高温多湿で，微生物による有機物の分解や植物による無機物の吸収が盛んなため，窒素化合物が土壌中に留まる時間が長いため。(62)

(Ⅳ)

(A)　農地で生産された作物は，それが運搬されて別の場所で消費されるため，分解されて生じる無機窒素化合物が農地に循環して戻ることがないから。(65)

(B)　生育の限定要因となっているリン，カリウムを同時に与えることで，植物の生育促進効果が増大するので，窒素の流れの太さは太くなる。(62)

(C)　赤潮の発生

第10講

【1】

問1　(1)　A：0.7　a：0.3　(2)　0%　(3)　0.09%

問2　25%

問3　③

問4　②

問5　①

問6　②

【2】

問1　(a)　④　(c)　③

問2　②　④

問3　②

問4　あ　⑦　う　④

確認テスト解答

第１講　確認テスト

［Ⅰ］

問１　③　　問２　④

［Ⅱ］

問３　①，③，④　　問４　③，④　　問５　③

問６　(ア)　11　(イ)　6　(ウ)　2　(エ)　1

【解説】

問１　１回目のDNA複製の後は，各々の染色分体を構成する２本鎖DNAのうち，一方のヌクレオチド鎖のみが放射性のチミジンを取り込んでいる。しかし，２本鎖DNAはヒストンに巻き付きながらコイル状に緻密に折りたたまれて染色分体を形成しているため，結局染色体全体が標識されているように見えることになる。ゆえに，③が正しい。

問２　１回目のM期の後，娘細胞は一方のヌクレオチド鎖のみが標識チミジンを取り込んでいる２本鎖DNAを受け継ぐ。この細胞を，標識チミジンを含まない培養液でさらに培養すると，S期で半保存的にDNA複製が行われた結果，一方の染色分体は標識チミジンを含まない２本のヌクレオチド鎖で，もう一方の染色分体は一方のヌクレオチド鎖のみが標識チミジンを取り込んでいる２本鎖DNAで構成されることになる。ゆえに，分裂中期の染色体では，染色分体の一方のみから標識が確認できることになり，④が正解となる。

問３　標識したチミジンを取り込むのはDNA合成を行っているS期の細胞のみであり，時間０で標識が確認できた全体の30％の細胞はS期にあったと考えられる。ゆえに，残りの70％はS期以外，すなわちG_1期，G_2期，M期であったと考えられる。

問４　サイトカラシンBは細胞質分裂を阻害するため，実験開始時にG_2期，M期にあった細胞は，S期を経ることなく細胞周期を止めてしまう。ゆえに，時間が経過しても標識されない15％の細胞はサイトカラシンBを添加した時点でG_2期，M期にあった細胞であると考えられる。

問５　標識したチミジンを取り込むのはDNA合成を行っているS期の細胞のみであるため，実験開始時に図１のⓩ(標識されたDNAをもつM期の細胞の割合)が０％であるのは，当然である。その後，S期の最後にいた細胞がG_2期を経てM期に到達することで，図１のⓩは０％以上になっていく。ゆえに，ⓩが０％のままである２時間は，G_2期の長さに相当すると考えられる。

問６　細胞周期全体が20時間であり，観察された細胞の５％が分裂期，30％がＳ期であったとすると，分裂期の要する時間は，$20 \times 0.05 = 1$時間，Ｓ期に要する時間は$20 \times 0.3 = 6$時間となる。また，問５よりG_2期は２時間であることから，$20 - (1 + 6 + 2) = 11$時間がG_1期に要する時間となる。

第2講　確認テスト

問1．茶色遺伝子が$X^{\underline{O}}X^{o}$の場合は，体の各部に茶色遺伝子が発現する細胞と発現しない細胞が混在する。茶色遺伝子が発現する部位は茶色となり，発現しない部位はアグチ遺伝子の影響でキジ色か黒色となる。さらに，スポット遺伝子が発現されれば白斑が加わり三毛となる。

問2．　母…$\underline{O}oaassMm$　　父…$o-Aassmm$

問3．

(1)　Ⅰ．①　　Ⅱ．⑤

(2)　0.2

【解説】

問1　　遺伝子型$X^{\underline{O}}X^{o}$の雌ネコでは，発生過程においてどちらのX染色体が不活性化されたかによって，茶色遺伝子を発現する細胞と発現しない細胞がそれぞれスポットとなって混在する。X^{o}が不活性化された細胞が占める部分は$X^{\underline{O}}$からの茶色遺伝子の発現によって茶に，$X^{\underline{O}}$が不活性化された部分はX^{o}からの遺伝子の発現によって黒，またはキジ色になる。またさらに，白斑遺伝子Sを持つ場合，茶色，白色，黒色（もしくは，キジ色）の三毛猫となる。雄はX染色体を1本しか持たないため，茶と黒（またはキジ色）を同時に発現できないので，三毛猫にはならない。

問2　4組の対立遺伝子が存在し，表現型が決定するまでの機構が複雑である。軽くまとめておこう。

i　$X^{\underline{O}}X^{\underline{O}}$，$X^{\underline{O}}Y$　…　基本は茶，A,aの遺伝子は表現型に反映されない。さらに，[M]はトラ模様，[m]は渦巻き模様，

ii　$X^{o}X^{o}$，$X^{o}Y$　[A]　…　基本はキジ，[M]はトラ模様，[m]は渦巻き模様

iii　$X^{o}X^{o}$，$X^{o}Y$　[a]　…　基本は黒，M,mの遺伝子は表現型に反映されない。

iv　$X^{\underline{O}}X^{o}$　[A]　…　基本は茶キジ，[M]はトラ模様，[m]は渦巻き模様

v　$X^{\underline{O}}X^{o}$　[a]　…　基本は茶黒，[M]は茶の部分にトラ模様，[m]は茶の部分に渦巻き模様

また，これらの遺伝とは別に[S]は白斑あり，[s]は白斑なしとなる。

親の表現型から，「黒色と茶色（トラ模様あり）の二色の雌ネコ」の遺伝子型は$X^{\underline{O}}X^{o}\ aa\ ss\ M\underline{\quad}$,「全身キジ色（渦巻き模様あり）の雄ネコ」は$X^{o}Y\ A\underline{\quad}\ ss\ mm$であることが分かる。$\underline{\quad}$は親の表現型からは特定できない。これらの子として，黒茶の子(aa)と渦巻き模様の子(mm)が生まれていることから,，雌ネコは，$X^{\underline{O}}X^{o}\ aa\ ss\ Mm$，雄ネコは$X^{o}Y\ Aa\ ss\ mm$であると特定できる。

問3

(1)　Ⅰ．$o-aassMm$ は，ⅲとなるため，全身黒となる。①

Ⅱ．$\underline{OO}Aa\underline{S}sMM$ は，ⅰでさらに[M][S]となるため，茶トラ，白斑ありとなる。⑤

(2)　ネコの数の合計は100匹となる。表1のなかで，白斑遺伝子をもたない(ss)のは，①～④であり，その頻度は，$\frac{64}{100}=0.64$ となる。この集団が，ハーディ・ワインベルグの法則が成り立っているとすると，集団中の s 遺伝子の頻度は0.8となり，$\underline{S}$ 遺伝子の頻度は $1-0.8=0.2$ となる。

第3講　確認テスト

問1　ア　④　イ　④　ウ　③　エ　①　オ　①

問2　錐体細胞　①，③，④　かん体細胞　②

問3　④

問4　(1)　⑤，⑥，⑦　(2)　③，④，⑤，⑥，⑦
(3)　②，③，④

【解説】

問1　網膜を構成する視細胞には，錐体細胞とかん体細胞がある。錐体細胞には青色，緑色，赤色の光をよく吸収する色素をもつ3種類があり，これらの細胞は，黄斑と呼ばれる網膜の中心部付近に多く存在している。一方のかん体細胞は1種類しかなく，網膜の周辺部に存在している。それぞれの視細胞の興奮は，連絡神経細胞を介して視神経細胞に受け渡され，視神経細胞の軸索は集合して網膜の一箇所から網膜を貫いて眼球の外に出る。この部分は盲斑と呼ばれる。

問2　ヒトの眼で受容できる波長を可視光といい，およそ380nm〜780nmの波長の光がこれにあたる。青錐体細胞の吸光極大は425nm，緑錐体細胞が530nm，赤錐体細胞が560nmとなる。ゆえに，錐体細胞が示す波長感受性を表す曲線は①③④となる。また，かん体細胞の吸光極大はおよそ500nmであり，その波長感受性をあらわす曲線は②となる。

問3　盲斑には視細胞が分布しないため，盲斑に光が到達しても受容されない。記録用紙のAB間の距離は。$11.2-8=3.2$cmであり，眼球の大きさは25mmである。眼球の奥行と盲斑の直径は，記録用紙までの距離とAB間の距離の関係に等しいので，盲斑の直径を$x$mmとすると，$25:x=50:3.2$ が成り立つ。これを解くと$x=1.6$mmと求められる。

問4　水晶体によって像は反転しているため，左目の網膜には左側から⑦〜②の像が，右目の網膜には左側から⑧〜③の像が写る。外側(耳側)の網膜で受容された興奮を伝える神経繊維は交差せずに同じ側の脳に，内側(鼻側)の網膜で受容された興奮を伝える神経繊維は視交さで交差して逆側の脳に連絡する。

(1)　左目では②〜⑦の6枚が見える。視神経は多少鼻寄りに出ているが，この場合は外側と内側の網膜で3つずつ受容していると考えるのが妥当であろう。左目の外側の網膜では⑤⑥⑦の書かれた紙が，内側の網膜では②③④の書かれた紙の像は受容されている。外側(耳側)の網膜で受容された興奮を受けた視神経は交叉せずに同じ側の脳に連絡するため。⑤⑥⑦が左脳の視覚野に提示されていると考えられる。

⑵　視交さで交差している神経繊維のみが切断された場合，外側（耳側）の網膜で受容された興奮を受けた神経繊維のみが脳に連絡することになる。その場合，⑴より，左目では⑤⑥⑦の紙を見ることができる。右の眼球の外側（耳側）の網膜では③④⑤の像が受容されていることから，右眼では③④⑤を見ることが出来る。これらを合わせて，③④⑤⑥⑦が正解となる。

⑶　左の視索が切断された場合，左目からは，左目の内側（鼻側）の網膜で受容された興奮を伝える神経繊維のみが脳に連絡することになる。この視神経繊維は②③④を伝えているため，この場合に左目で見ることが出来る番号は②③④となる。

第４講　確認テスト

問１　d）
問２　胸腺…a），b）　ひ臓…c）
問３　b），c）
問４　a），c），f）
問５　父親…c），d），e）　母親…c），d）
問６　50％
問７　75％

【解説】

問１　骨髄は骨の内部の柔組織であり，ほとんどの骨の中に存在する。四肢骨や骨盤などで特に発達しており，造血幹細胞の分裂によってさまざまな血球が作られている。

問２　胸腺は，心臓の上部に位置するリンパ系の器官であり，リンパ球の１種であるＴ細胞の成熟が行われる。特に幼少期の胸腺ではリンパ球の成熟が行われているため，出生直後に胸腺を摘出するとリンパ球が成熟の場を失うため免疫不全となる。またひ臓は，胃の左後ろに位置する器官であり，内部にはリンパ球が存在し，さまざまな免疫応答反応が行われている。また赤血球などの血球の破壊の場でもある。

問３　マクロファージは白血球の１種であり，血球の5％程度を占める単球が組織内に浸潤して分化する。マクロファージは内部にリソソームを多く含み，食作用によって取り込んだ抗原を分解するとともに，分解した抗原の一部を細胞膜の表面に提示することで，ヘルパーＴ細胞に抗原の情報を伝える役割も持つ。aについて，食作用を示す細胞は，マクロファージ以外にも好中球や樹状細胞などがある。bについて，正しい。抗体が結合した抗原はマクロファージによって効果的に排除される。cについて，正しい。マクロファージは体液性免疫，細胞性免疫のどちらにおいても抗原提示を行う。dについて，記憶細胞として残るのはリンパ球であり，マクロファージは記憶細胞にならない。eについて，ヒスタミンを放出しアレルギー反応を起こすのは，肥満細胞である。

問４　免疫グロブリンをパパインで処理した場合，抗原への結合能は残るものの，抗原結合部位が分離するため凝集させることができなくなる。一方，ペプシンで処理した場合，結合能も凝集能も残る。タンパク質ＡはペプチドＢとペプチドＣで構成されるが，それぞれのペプチドに対する抗体だけでは分子が複合体になれず凝集しない。両方のペプチドに対する抗体を混在させることで，抗原と免疫グロブリン分子が鎖状につながり，沈殿が起きる。ゆえに，沈殿物が出来る組み合わせは，①か③と，④か⑥の組み合わせとなる。以上より，a①④，c①⑥，f③⑥が正解となる。

問5　父親が $A_1A_1B_1B_2C_1C_2$，母親が $A_1A_2B_2B_2C_1C_2$ である。父親にとって A_2 は非自己であるため，A_2 をもつc)，d)，e)は拒絶反応が起きる。また，母親にとって B_1 は非自己であるため，B_1 をもつc)，d)で拒絶反応が起きる。

問6　$A_1A_1B_1B_2C_1C_2$ と $A_1A_2B_2B_2C_1C_2$ の間に生まれた子供の遺伝子型は，A_1A_1 と A_1A_2 がそれぞれ $\frac{1}{2}$，B_1B_2 と B_2B_2 がそれぞれ $\frac{1}{2}$，C_1C_1 と C_1C_2 と C_2C_2 がそれぞれ $\frac{1}{4}$，$\frac{1}{2}$，$\frac{1}{4}$ の確率で生じることになる。これらは独立して遺伝する。

その子供に $A_1A_1B_2B_2C_1C_2$ の遺伝子型の組織片を移植した場合，移植片の A_1 と B_2 は拒絶されないが，子供の遺伝子型が C_1C_1 であった場合は移植片の C_2 が，子供の遺伝子型が C_2C_2 であった場合は移植片の C_1 が非自己となってしまうため，拒絶反応が起こる。ゆえに，$A_1A_1B_2B_2C_1C_2$ の遺伝子型の組織片に対して拒絶反応が起こる確率は，子供の遺伝子型が C_1C_1 もしくは，C_2C_2 となる確率となるので $\frac{1}{2}$，すなわち50%が答えとなる。

問7　同様に，$A_1A_2B_2B_2C_1C_2$ の遺伝子型の組織片を移植したとき，子供の遺伝子型が A_1A_1 であった場合は移植片の A_2 が非自己となってしまうので，$\frac{1}{2}$ の確率で拒絶反応が起こる。また，Cについては，問6と同様なので $\frac{1}{2}$ の確率で拒絶反応が起こる。AとCの遺伝は独立に起こり，AとCの一方でも拒絶されれば拒絶反応が起こる。拒絶反応が起こることを，移植片が生着することの余事象と考えると，拒絶反応が起こる確率は，$1-(\text{生着する確率})=1-\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}=1-\frac{1}{4}=\frac{3}{4}$ となる。ゆえに，75%が答えとなる。

第５講　確認テスト

問１　物質Ｅはグルコース輸送体ｘを細胞質から細胞膜に移動させることによりグルコースの取込みを調節すると考えられる。(54)

問２　物質Ｅの産生は，グルコース輸送体ｙを介して濃度依存的に細胞Ｙに取込まれたグルコース量に比例して調節されると考えられる。(59)

問３

患者Ｘ　(オ)のグラフ

理由　患者Ｘではグルコース輸送体ｘの異常により，物質Ｅに依存的なグルコース取込みに障害があると考えられるので，食後血糖値が上昇して物質Ｅの分泌が起こっても，血糖値は上昇したままである。

患者Ｙ　(エ)のグラフ

理由　患者Ｙではグルコース輸送体ｙの異常により，血中グルコース濃度に依存した物質Ｅの分泌が出来ないと考えられるので，食後血糖値が上昇しても，物質Ｅの分泌が起こらず，血糖値は上昇したままである。

【解説】

問１　物質Ｅが適切に働かなくなると糖尿病になることから，物資Ｅはインスリンであると考えられる。実験1の結果より，物質Ｅの添加によって細胞Ｘのグルコース輸送体が細胞膜上に移動し，細胞内へのグルコースの取り込み量が増えることが認められる。グルコース輸送体xが存在しない場合は，物質Ｅが添加されてもグルコースの取り込み量は増加しないことから，グルコース輸素体x以外を介したグルコースの取り込みは考慮しなくて良いだろう。

問２　細胞Ｙは物質Ｅ(インスリン)を産生する細胞なので，すい臓のランゲルハンス島Ｂ細胞であると考えられる。図２より，細胞Ｙは外液のグルコース濃度に比例してグルコースを取り込むことが分かる。細胞Ｙのもつグルコース輸送体yは，受動的にグルコースを輸送すると考えられる。また，グルコースの取り込みが進むほど物質Ｅが産生されることは，血糖値が高い場合に自律的にすい臓ランゲルハンス島Ｂ細胞からインスリンが分泌される事実と合致する。

問３　健常者の血糖値はおおよそ100mg/100mL程度に維持されているが，糖尿病患者では食前でも血糖値が高めになっている。食後は健常者，糖尿病患者に関わらず血糖値はさらに高くなる。グルコース輸送体xの異常が原因となっている患者Ｘは，インスリンの標的細胞である肝細胞などのインスリンに対する反応性が失われている。そのため，食後の血糖値増加によって物質Ｅ(インスリン)が分泌されても，高血糖状態が維持される。一方，グルコース輸送体yの異常が原因となっている患者Ｙでは，すい臓ラ

ンゲルハンス島Ｂ細胞がグルコースを取り込めなくなっている。そのため，食後に血糖値が増加しても物質Ｅの分泌は見られず，結果，高血糖状態が維持される。ゆえに，グルコース輸送体ｘの異常が原因となっている患者Ｘの検査結果は㈹となり，グルコース輸送体ｙの異常が原因となっている患者Ｙの検査結果は㈵となる。

第６講　確認テスト

問１　ア　ピルビン酸　　イ　二酸化炭素　　ウ　水

問２　酵母菌には細胞壁があり，細胞の形態保持が行われるから。

問３　筋肉に貯蔵されているクレアチンリン酸とADPが反応することでクレアチンとATPが合成される。

問4

⑴　アルコール発酵

⑵　酵母菌…B　　乳酸菌…A　　コウジカビ…D

⑶　酵母菌は還元型補酵素Xを用いてアセトアルデヒドを還元してエタノールを生成する。その際に還元型補酵素Xが酸化型補酵素Xとなり，それが供給される。

問５　ミトコンドリア…内膜と外膜の間［膜間腔，膜間スペース］
葉緑体…チラコイド内

問6　細胞膜
理由…ミトコンドリアの電子伝達系は，ミトコンドリアの祖先である好気性細菌の細胞膜に由来するミトコンドリア内膜上に存在するため。

【解説】

問１　呼吸は解糖系，クエン酸回路，電子伝達系の過程に分けられる。各反応の基質と生成物を把握しておきたい。グルコースを基質とした場合，解答系の生成物はピルビン酸である。クエン酸回路では，ピルビン酸と水から，二酸化炭素と水素（還元型補酵素）を生じる。電子伝達系では，水素（還元型補酵素）と酸素が反応して水を生じることになる。

問２　酵母菌は真核生物の菌界に属し，細胞壁をもつ。植物のもつセルロースを主成分とした細胞壁とは異なる成分で出来ているが，膨圧を生むことで細胞の吸水破裂を防いでいる点は同じである。

問３　筋肉中には高エネルギーのリン酸化合物としてクレアチンリン酸が蓄積している。筋収縮によってATPが分解された場合，クレアチンリン酸からのリン酸基の転移によって即時的にADPからATPが再合成される。この過程があるおかげで，急激な運動の際でも筋細胞内のATP濃度が下がり切ることがなくなる。

問４

⑵　A～Dのスケッチのなかには，酵母菌，乳酸菌，コウジカビのものが含まれている。Aは円筒状の形態を示していることから，乳酸菌を描いたスケッチである。Bは楕円形の形態を示し出芽している様子が観察されることから,酵母菌であると考えられる。Cは三日月形の形態をしめすミカヅキモであると考えられる。Dのタンポポの綿毛のように広がる構造は，コウジカビの胞子(生分子)が何列も鎖状に連なっている様子を示している。どれも典型的なものであるので，観察する眼を鍛えておきたい。

⑶　文章は，解糖系の過程で，ピルビン酸の生成に伴って補酵素X(NAD^+)が還元されることを説明している。生成した還元型補酵素Xはアセトアルデヒドを還元してエタノールを生じる反応で消費され，その結果，酸化型に戻る。

問５　ミトコンドリアと葉緑体では，それぞれATPが合成される。そのどちらも，電子伝達系を用いたH^+濃度勾配の形成の過程とATP合成酵素を通じたH^+濃度勾配の解消によるATP合成の過程からなる。ミトコンドリアでは，電子伝達系によってH^+がマトリックスから膜間腔に能動的に運ばれ，濃度勾配に従って膜間腔からマトリックス側に流入する際にATPが合成される。一方，葉緑体では，電子伝達系によってH^+がストロマからチラコイド内に能動的に運ばれ，濃度勾配に従ってチラコイド内からストロマに流出する際にATPが合成される。前者は酸化的リン酸化，後者は光リン酸化と呼ばれる。

問６　ミトコンドリアは，好気性細菌が宿主となる原始的な真核細胞に共生することで進化してきたと考えられている。ミトコンドリアによるATP合成の要は電子伝達系とATP合成酵素である。両者はミトコンドリア内膜に埋まっており，ミトコンドリア内膜は好気性細菌の細胞膜に由来することを考慮すると，好気性細菌の電子伝達系は細胞膜上にあったと考えられる。

第７講　確認テスト

問１　Ｘ線などの放射線を照射する。化学物質であるコルヒチンで処理する。

問２　⑴　Ｃ　⑵　Ｂ　⑶　Ａ　⑷　Ⅲ　⑸　Ⅱ　⑹　Ⅰ

問３　Ⅰ×Ⅱ：⑵　Ⅰ×Ⅲ：⑻

問４　（１から順に）GGACGTCGAGGTGAAGTTGGTTGCA

問５　13から24まで

問６　G2－1：20番目のＧがＡに変異した。
　　G2－2：16番目のＧが欠失した。

【解説】

問１　人為的に遺伝子突然変異を誘発する要素として，Ｘ線やガンマ線などの放射線，マスタードガスなどの特定の化学物質が挙げられる。また，イヌサフランから抽出されるコルヒチンは，紡錘糸の形成を阻害することで倍数化を引き起こす。

問２　変異株Ⅲは，変異株ⅠやⅡが分泌するメラニン前駆体からメラニンを合成できていることから，合成経路の序盤の反応が滞っており，その結果黄色の前駆物質Ｃを分泌していると考えられる。変異株Ⅰは変異株ⅡやⅢが分泌するメラニン前駆体からメラニンを合成できていないことから，合成経路終盤の反応が滞っており，その結果薄茶色の前駆物質Ａを分泌していると考えられる。変異株はその中間的な特徴を示している。ゆえに，代謝経路はＣ→Ｂ→Ａ→メラニンとなり，Ｃ→Ｂの反応に関わる酵素の遺伝子に変異をもつのは変異株Ⅲ，Ｂ→Ａについては変異株Ⅱ，Ａ→メラニンについては変異株Ⅰとなる。

問３　それぞれの株のもつ変異遺伝子をg1，g2，g3とする。変異株ⅠはG1G2g3，変異株ⅡはG1g2G3，変異株Ⅲはg1G2G3となる。G1とG3は完全連鎖であるが，G1，G3とG2は独立である。変異株ⅠとⅡの交配を行い得られた子のう胞子の遺伝子型は，G1G2G3：G1G2g3：G1g2G3：G1g2g3＝1：1：1：1となる。G1G2G3はメラニンの黒褐色, G1G2g3は薄茶色, G1g2G3とG1g2g3はともにＢで反応が止まるため赤色となる。ゆえに，黒褐色：赤色：薄茶色＝1：2：1となる。変異株ⅠとⅢの交配を行い得られた子のう胞子の遺伝子型は，G1G2g3：g1G2G3＝1：1となり，g1G2G3は黄色となることから，黄色：薄茶色＝1：1となる。

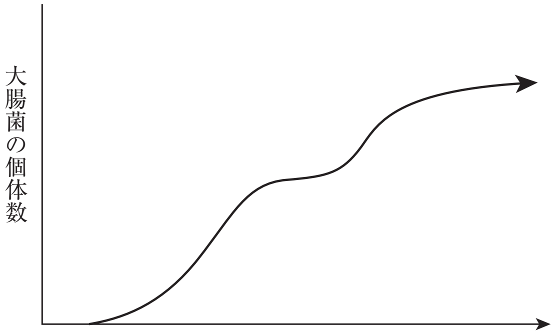
問５　ロイシンを指定するコドンは2番目，8番目，13番目の塩基から始まる。2番目の塩基からアミノ酸に対応させると，4番目のアミノ酸トレオニンにコドンCACが対応することになり説明できない。8番目の塩基からアミノ酸に対応させると，2番目のアミノ酸グルタミンにコドンCACが対応することになり，こちらも説明できない。13番目の塩基からアミノ酸に対応させると，各アミノ酸への対応を矛盾なく説明できる。

問６　突然変異株G2－1はプロリンを指定するコドンCCAに塩基置換が生じてロイシンを指定するコドンCU□，もしくはUUA,UUGに変化したと考えられる。このなかで一塩基の置換で説明できるのは，20番目の塩基CがUに変化することである。対応するDNAに反映させると20番目の塩基GがAに置換したことになる。また突然変異株G2－2は2番目のアミノ酸グルタミンを指定するコドンCAAでフレームシフトが起こっていると考えられる。アスパラギンを指定するコドンはAAUかAACであるため，一塩基の変異で説明するためには，16番目の塩基Cが欠失しなくてはならない。対応するDNAに反映させると16番目の塩基Gが欠失したことになる。

第８講　確認テスト

問１　ア　制限酵素　イ　逆転写酵素　ウ　リガーゼ
エ　ランゲルハンス島　オ　B細胞　カ　転写
キ　RNA合成酵素　ク　調節遺伝子　ケ　オペレーター
コ　促進，開始，活性化など

問２
⑴　クで合成されたタンパク質がケに結合したため。
⑵　(サ)　＋　(シ)　＋
⑶　次図



⑷　B，C

問３
⑴　抗生物質Jの分解酵素が産生されないから。
⑵　(セ)　D，E，F，G，H　(ソ)　F，G，H
(タ)　D，E　(チ)　F，G
(ツ)　E

【解説】

問１　基本的な空欄補充問題である。オペロン説の理解のためには，プロモーター領域やオペレーター領域の役割を正しく把握しておくことが必要となる。

問２
⑴　調節遺伝子の発現産物である調節タンパク質(リプレッサー)はオペレーター領域に結合することで，ラクトース分解酵素遺伝子群の発現を抑制している。培地にラクトースがある場合は，ラクトース，ないしはその転写産物はリプレッサーに結合することでリプレッサーの立体構造が変化しオペレーター領域から離れる。その結果，ラクトース分解酵素遺伝子群の発現が促進されることになるが，条件1ではラクトースが培地に存在しないため，ラクトース分解酵素は産生されない。

⑵　培地にラクトースがあるため，ラクトース分解酵素が産生される。ラクトースの分解産物をエネルギー源として利用できるため，大腸菌は生育する。

⑶ 培養開始からしばらくの時間は，グルコースを呼吸基質として利用できるため大腸菌の個体数は順調に増加する。グルコースが枯渇するとラクトースオペロンの発現が誘導されるが，ある程度の時間を要するため，その間は大腸菌の増殖は停止する。その後ラクトースを基質として利用して増殖するが，ラクトースが枯渇すると増殖は再び停止する。

⑷　プロモーター領域に変異をもつ変異株Ａでは，どのような条件であってもラクトース分解酵素産生は見られない。調節遺伝子に変異をもつ変異株Ｂでは，変異の結果合成されるリプレッサーがオペレーター領域に結合できない場合とリプレッサーがラクトースと結合できずオペレーターから解離できない場合が考えられる。前者の場合は，どのような条件であってもラクトース分解酵素が産生され，後者ではどのような条件であってもラクトース分解酵素は産生されない。プロモーターに変異をもつ変異株Ｃでは，プロモーター領域の変化によってリプレッサーが結合できなくなるため，どのような条件でもラクトース分解酵素が産生されることになる。実験結果は，ラクトースの有無によらずラクトース分解酵素が産生されいることから，変異株Ｂ，もしくは変異株Ｃであると考えられる。

問３

⑴　プラスミドＤには抗生物質Ｊを分解する酵素遺伝子が存在しない。そのため，プラスミドＤを取り込んだ大腸菌は，培地に添加した抗生物質Ｊによって死滅してしまったと考えられる。

⑵　条件2は培地に抗生物質Jが存在しないため，プラスミドをもたない大腸菌も，どのようなプラスミドをもつ大腸菌も生育する。ゆえに，D,E,F,G,Hのどれもが答えとなる。条件3で白色のコロニーを形成する大腸菌は，抗生物質J分解酵素の有無を問わず，ラクトース分解酵素遺伝子が分断されているか，もともと存在しないプラスミドを受け取った大腸菌である。ゆえに，F,G,Hが答えとなる。条件4で青色のコロニーを形成するプラスミドは，抗生物質J分解酵素の有無を問わず，ラクトース分解酵素遺伝子が存在するプラスミドを受け取った大腸菌である。ゆえに，D,Eが答えとなる。条件5で白色のコロニーを形成する大腸菌は，抗生物質J分解酵素遺伝子が存在し，ラクトース分解酵素遺伝子が分断されているか，もともと存在しないプラスミドを受け取った大腸菌である。ゆえに，F,Gが答えとなる。条件6で青色のコロニーを形成している大腸菌は，抗生物質J分解酵素遺伝子が存在し，ラクトース分解酵素遺伝子が存在するプラスミドを受け取った大腸菌である。ゆえに，Eが答えとなる。

第９講　確認テスト

問１　A1　(ア)　A2　(イ)　A3　(カ)　A4　(ウ)　A5　(エ)　A6　(オ)

問２　構成要素間の物質(窒素)の循環を表す。

問３

(1)　一段階ごとに生物の大きさも大きくなるので，個体数は少なくなると考えられる。

(2)　個体数ピラミッド

問４　Ａ生態系は生産者の生物量が比較的小さいがＢ生態系ではかなり大きい。

問５　森林…Ｂ生態系　　湖沼…Ａ生態系　　海洋…Ａ生態系

【解説】

問１　A1は太陽光エネルギーを取り込んでいることから生産者であると考えられる。A4，A5，A6は，A1から段階的に矢印を受け取る構図から，A4が一次消費者，A5が二次消費者，A6が三次消費者となる。残りの分解者と生物遺体・排出物等は生産者・消費者 → “生物遺体・排出物等” → “分解者”と配置されるはずなので，A3が生物遺体・排出物等，A2が分解者となる。

問２　→は土壌中の栄養塩を経由しつつ生態系内を循環している。生態系内を循環する代表的なものとして，炭素や窒素がある。炭素の場合は，循環の構図の中に，大気中の二酸化炭素が生産者に炭酸同化として取り込まれる過程が含まれるはずである。土壌の栄養塩に含まれる成分であること，大気に含まれる成分であることを考慮すると，矢印は窒素の循環であると考えられる。

問３

(1)　一般的に捕食・被食の関係を考慮すると，高次栄養段階の生物の方が大型となる。高次栄養段階ほど生物量は減少し，１個体あたりの大きさも大きくなるので，個体数は減少するはずである。

(2)　各栄養段階がもつ“量”を帯状に表現し積み重ねたものを生態系ピラミッドとよぶ。“量”には，個体数や生物量，生産量などがある。生態系や状況によって個体数ピラミッドや生物量ピラミッドは逆転する可能性があるが，生産量ピラミッドは逆転することはない。

問４　Ａ生態系では，生産者の生物量が小さい割に消費者の生物量が大きい。これは根や茎などの非同化器官をもたない植物プランクトンが生産者の主体である水圏の生態系の特徴である。植物プランクトンは同化の効率も高いため，生物量が小さく見えても大きな生産量で消費者を支えることができる。一方，Ｂ生態系では，生産者の生物量が極端に大きいものの，消費者の生物量は非常に少ない。これはとくに木化した幹などの非同化器官が発達した森林生態系の特徴である。木本は可食部が少ないため，生物量は大きい割に，そこに生息する消費者の生物量は小さくなる。

問５　問4より，森林はＢ生態系，湖沼，海洋などの水圏生態系はＢとなる。

第10講　確認テスト

（文1）

〔1〕 あ　属名　い　種小名　う　二名法　え　リンネ　お　界
か　門　き　綱　く　目

〔2〕 ④

（文2）

〔3〕 生殖的隔離　〔4〕 ②　〔5〕 ⑥

【解説】

〔1〕 生物の分類は種を単位とする。ある生物種を指し示す世界共通の名称は学名と呼ばれ，二名法に従ってつけられている。二名法は，スウェーデンのリンネによって確立され，生物種を，種が所属する属名とそれに続く種小名で表現する。系統関係の近い種の集まりは属，系統関係の近い属の集まりは科とよばれるグループにまとめられ，さらに上位の階層は，目，綱，門，界とまとめられる。例えば，ヒトの場合は，動物界脊椎動物門哺乳綱霊長目ヒト科ヒト属ヒトとなる。ここで用いた“ヒト”とは和名であり，ヒトの学名は，*Homo sapiens*となる。

〔2〕 動物の発生過程では，胞胚期に続く原腸胚期に陥入が起こり，胚を貫く原腸が形成される。原腸は将来の消化管となるが，三胚葉動物は，陥入の開始点である原口が肛門になる新口動物と，原口が口になる旧口動物に大別される。旧口動物にはショウジョウバエを含む節足動物や環形動物，軟体動物などが含まれる。内臓が収まっている体内の空所である体腔には，中胚葉による裏打ちのない偽体腔と中胚葉で裏打ちされた真体腔がある。真体腔は，中胚葉の内部に新しくできる空洞に由来する。偽体腔をもつ動物群には線形動物や輪形動物が，真体腔をもつ動物群には環形動物，軟体動物，節足動物，棘皮動物，原索動物，脊椎動物などが含まれる。

〔3〕 同一地域に生息する集団内に，繁殖時期や生殖器官の構造を異にするような変異が生じ，変異個体と他個体との間で子孫が残せなくなる状態を，生殖的隔離と呼ぶ。2つの集団が地理的に離れることで交配が起こらなくなる地理的隔離と区別したい。

〔4〕 表1の結果から，祖先型のキイロを雌親にした場合の方が，交配成功率が高いことが分かる。②が正しい。④について，より交配確率の高い組み合わせの雄は派生種のオナジである。⑤についても，表1の結果では，正逆交配での交配成功率の合計は，39.6＋2.4＝42％と50％以下である。だが，より交配成功率の低い交配における雌は，派生種のオナジであり，矛盾する。

〔5〕 成功率が高い交配において雌であった種が，祖先種であると考えられる。A×Bでは，A♀×B♂の交配成功率が高く，Aが祖先種であると考えられる。A×Cでは，A♀×C♂の交配成功率が高く，Aが祖先種であると考えられる。B×Cでは，B♀×C♂の交配成功率が高く，Bが祖先種であると考えられる。以上を満たす系統樹は，⑥が妥当である。分岐点において，直線につながる方が祖先型であることに注意したい。

Ⓒ RECRUIT
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。